

**Multiagentensysteme in der rückführenden Logistik –
Entwurf einer Systemarchitektur zur Steigerung der
Prozesseffizienz durch dynamische Disposition
der Sekundärrohstofflogistik**

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieur-
wesen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Verkehrswirtschaftler
Dirk Braunisch

geboren am 14. Februar 1978 in Oschatz

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. R. Woll
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. D. Specht
Gutachter:	Prof. Dr. H. Winkler
Tag der mündlichen Prüfung:	14.01.2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis.....	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	3
1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	5
2 Stand der Forschung in der Logistik und Reverse Logistics	9
2.1 Gegenstand und Ziele der Logistik	9
2.2 Aufgaben und Teilbereiche der Logistik	13
2.3 Bedeutung und Entwicklung der betrieblichen Teilfunktion Logistik für Unternehmen.....	15
2.3.1 Wertbeitrag der Logistik	15
2.3.2 Entwicklungen in der Logistik.....	17
2.4 Reverse Logistics in der betrieblichen Praxis	21
2.4.1 Reverse Logistics.....	22
2.4.1.1 Definition des Begriffes	22
2.4.1.2 Ziele, Aufgaben und Entwicklungen.....	23
2.4.2 Sekundärrohstofflogistik als Teil der Reverse Logistics.....	25
2.4.2.1 Klärung des Begriffes.....	25
2.4.2.2 Entwicklungen der Rohstoffsituation und Rohstoffproblematik	27
2.4.2.3 Substitutionspotentiale durch Sekundärrohstoffe	30
2.4.2.4 Strategien der Materialrückgewinnung.....	32
2.4.2.5 Logistische Objekte	33
2.4.2.6 Logistische Aktivitäten.....	34
2.4.2.7 Logistische Akteure	36
2.4.2.8 Herausforderungen in der Sekundärrohstofflogistik und Sekundärrohstoffproduktion	37

2.5	Supply Chain Management.....	39
2.5.1	Aufbau, Motivation und Integration einer logistischen Wertschöpfungskette	40
2.5.2	Erweiterung der Wertschöpfungskette zum Closed-Loop Supply Chain Management.....	43
2.6	Zwischenfazit.....	46
3	Dynamische Disposition	49
3.1	Charakterisierung der Disposition.....	49
3.2	Dynamische Umfeldbedingungen	51
3.2.1	Marktdynamisierung.....	51
3.2.2	Flexibilität in Produktions- und Fertigungsstrukturen	53
3.2.3	Stochastische Materialströme	54
3.2.3.1	Stochastische Stoffströme und Bestandsdisposition ...	54
3.2.3.2	Vorhersagetechniken von Materialsströmen.....	57
3.3	Dynamische Dispositionstechniken	60
3.3.1	Ansätze zu dynamischer Disposition	60
3.3.2	Multiagentensysteme	63
3.3.2.1	Einordnung des Begriffs	63
3.3.2.2	Implementierung und Anwendung von Multiagentensystemen	67
3.4	Auswahl einer Methode zur Anwendung in der Sekundärrohstofflogistik	69
3.5	Zwischenfazit	70
4	Entwurf einer netzwerkbasierten Steuerung durch dynamische Disposition	71
4.1	Zielstellung und Vorgehen	71
4.2	Forschungsrelevanz.....	80
4.3	Entwicklungsbedarf für eine netzwerkbasierte Steuerung und Koordination in rückführungslogistischen Systemen	82
4.4	Exkurs: Logistische Netzworkebildung	84
4.4.1	Netzworkeforschung	84
4.4.1.1	Netzwerktheorie	84
4.4.1.2	Netzwerktypologisierung	85
4.4.1.3	Koordinationstheorie	87

4.4.1.4	Logistiknetzwerke.....	88
4.4.1.5	Netzwerkmanagement	91
4.4.2	Organisatorische Aspekte zur Netzbildung in der Sekundärrohstofflogistik.....	92
4.4.2.1	Netzwerkeigenschaften.....	94
4.4.2.2	Motive für eine Netzwerkbildung	95
4.4.2.3	Netzwerktypologisierung	99
4.4.2.4	Netzwerkmodellierung in der Sekundär- rohstofflogistik	99
4.4.2.5	Beispiele von Netzwerken.....	102
4.5	Anpassungsbedarf der Disposition an die Sekundärrohstoff- logistik	105
4.6	Strukturen der rückführenden Logistik.....	108
4.6.1	Problemanalyse	108
4.6.2	Reale Konzepte der Rückführungslogistik	111
4.6.3	Beispiele der rückführenden Logistik.....	113
4.6.3.1	Bauindustrie/Rückbau von Gebäuden	113
4.6.3.2	Autoverwertung	117
4.6.3.3	Elektronikschrottverwertung.....	118
4.6.3.4	Altbatterien als sekundäre Rohstoffressourcen	119
4.6.3.5	IBM Case.....	120
4.7	Multiagentenbasierte dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik	123
4.7.1	Architektur eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems.....	124
4.7.1.1	Methodisches Vorgehen	124
4.7.1.2	Grundkonzept.....	125
4.7.1.3	Standard-Architekturen im Bereich der Agenten- technologie	138
4.7.1.4	Agententypen in der Sekundärrohstofflogistik	143
4.7.1.5	Kommunikations- und Transferprotokoll	148
4.7.1.6	Ontologie zum Datenaustausch	156
4.7.2	Dynamische Disposition.....	159
4.7.2.1	Ansätze für die Durchführung	159

4.7.2.2	Dispositionsalgorithmen und -heuristiken	161
4.7.2.3	Beispielhafte Darstellung der dynamischen Disposition	165
4.7.2.4	Dynamische Dispositionsszenarien	174
4.8	Anwendbarkeit, Einführung und Relevanz der Multiagentensteuerung in der Praxis	178
4.8.1	Anwendbarkeit und Einführung in der Sekundärrohstoff logistik	178
4.8.2	Sichtweisen von ausgewählten Unternehmen	182
4.9	Recyclingmodelle für die Sekundärrohstoffindustrie.....	187
4.10	Selektive MAS-Steuerung.....	191
4.11	Kriterien für die Auswahl und Einordnung in die selektive MAS-Steuerung	200
4.12	Nachfrage- und Kapazitätssteuerung in selektiven MAS.....	202
4.13	Ergebnisse und Nutzen des Vorgehens	208
4.14	Zwischenfazit	211
5	Methodik zur Bewertung, Übertragung und Umsetzung in die Halbleiterfertigung.....	213
5.1	Identifikation von Zusammenhängen zwischen der Halbleiterferti- gung und der Rückführungslogistik	213
5.2	Rohstoffbedarf	215
5.3	Multiagentensysteme in der Mikrochipindustrie	220
5.3.1	Multiagentenbasierte Disposition	221
5.3.2	Erweiterte Multiagentenbasierte dynamische Disposition .	226
5.4	Zwischenfazit	229
6	Schlussbetrachtung	231
6.1	Zusammenfassung	231
6.2	Grenzen der Arbeit und weiterer Forschungsbedarf.....	233
7	Literatur	235

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	7
Abbildung 2:	Entwicklung der Logistik	11
Abbildung 3:	Teilbereiche und Aufgaben der logistischen Kette.....	15
Abbildung 4:	Entwicklung der Rohstoffpreisindizes von 2009 bis 2012....	28
Abbildung 5:	Continuous Commodity Index bis 2012	29
Abbildung 6:	Reichweite von Rohstoffen	30
Abbildung 7:	Elemente der Sekundärrohstofflogistik	37
Abbildung 8:	Struktur von Closed Loop Supply Chains	44
Abbildung 9:	Determinanten der Rückführungslogistik	55
Abbildung 10:	Eignungsprofil der Fließ- und Werkstattfertigung für die rückführende Logistik	74
Abbildung 11:	Subsysteme des Logistiksystems eines Unternehmens.....	75
Abbildung 12:	Struktur des Produktionssystems	75
Abbildung 13:	Betriebliches Gesamtsystem der Unternehmen	76
Abbildung 14:	Beispiel MAS im Bereich der rückführenden Logistik	77
Abbildung 15:	Vorgehensmodell für die Entwicklung eines multiagenten- basierten dynamischen Dispositionssystems in der Sekun- därrohstofflogistik	79
Abbildung 16:	Wissenschaftliche Veröffentlichungen zur Reverse Logistics	80
Abbildung 17:	Materialflüsse im Netzwerk	93
Abbildung 18:	Stoffströme und Input-Output-Beziehungen	95
Abbildung 19:	Darstellung eines Netzwerkgrundmodells.....	102
Abbildung 20:	Morphologische Darstellung der Merkmale zur Auftragsab- wicklung und deren Ausprägung zur Kategorisierung der Unternehmen	109
Abbildung 21:	Morphologische Darstellung der Ausprägungsformen von stoffart- und organisationsformbezogenen Konzepten der Entsorgungslogistik	112

Abbildung 22:	Stoffkreisläufe im Bausektor	115
Abbildung 23:	Ablaufstruktur eines selektiven Gebäuderückbaus.....	116
Abbildung 24:	Konzept der Altautoverwertung des VDA	118
Abbildung 25:	Phasenmodell für die Architektur eines multiagenten- basierten dynamischen Dispositionssystems in der Sekundärrohstofflogistik.....	125
Abbildung 26:	Definition eines Multiagentensystems.....	126
Abbildung 27:	Definition eines Agenten	127
Abbildung 28:	Einflussbereiche für intelligente Softwareagenten	128
Abbildung 29:	Grundelemente eines Agenten	129
Abbildung 30:	Blackboardsystem.....	131
Abbildung 31:	Aufbau von Message- und Kontraktnetz-Architekturen	133
Abbildung 32:	Multiagentenstruktur eines Unternehmens	137
Abbildung 33:	FIPA-Referenzmodell.....	140
Abbildung 34:	OMG-Referenzmodell	141
Abbildung 35:	MASIF-Referenzmodell.....	142
Abbildung 36:	Kommunikation zwischen Manager-, Produktions- und Maschinenagent.....	149
Abbildung 37:	Schalenmodell für die Interaktion in Agentensystemen	150
Abbildung 38:	Ontologiebasiertes Kommunikationsmodell.....	157
Abbildung 39:	Prinzip der Ontologieerstellung und Spezifizierung	159
Abbildung 40:	Ablaufdiagramm des SA Algorithmus	162
Abbildung 41:	One-point Crossover	164
Abbildung 42:	GA- und prioritätsregelbasierte dynamische Disposition ...	166
Abbildung 43:	Dispositionshierarchie	168
Abbildung 44:	Vier-Phasen Modell für die durchlaufzeitbasierte Disposition.....	176
Abbildung 45:	MAS für Sekundärkunststoff am Beispiel des Automobilherstellers.....	180
Abbildung 46:	Ansatz zur Einsatzbereitschaft.....	183
Abbildung 47:	Fünf Modelle in der Recyclingwertschöpfungskette.....	188
Abbildung 48:	Ansatz zur Katalogisierung für die selektive MAS-Steuerung.....	192
Abbildung 49:	Selektiver MAS-Katalog 1: Entfallung und Sammlung	193

Abbildung 50:	Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung Entfallung und Sammlung	194
Abbildung 51:	Selektiver MAS-Katalog 2: Einkauf und Verteilung	195
Abbildung 52:	Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung Einkauf und Verteilung	196
Abbildung 53:	Selektiver MAS-Katalog 3: Recycling und Verwertung	197
Abbildung 54:	Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung Recycling und Verwertung	198
Abbildung 55:	Selektiver MAS-Katalog 4: Ganzheitliches Rückführungs- modell.....	199
Abbildung 56:	Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung ganzheitliches Rückführungsmodell	200
Abbildung 57:	Kriterien zur Auswahl in die selektive MAS-Steuerung.....	202
Abbildung 58:	Supply Chain Szenario.....	203
Abbildung 59:	Exemplarische Agentenverteilung	204
Abbildung 60:	Nachfrage- und Kapazitätsgrößen im selektiv, kooperierenden MAS	207
Abbildung 61:	Traditionelle Disposition.....	210
Abbildung 62:	Kritische Rohstoffe nach globalen Kriterien	219
Abbildung 63:	Agenten für die Realisierung der Produktionssteuerung in der Halbleiterfertigung.....	222
Abbildung 64:	Interaktionen zwischen Entscheider- und Dienstagenten..	224
Abbildung 65:	Grobarchitektur des FABMAS-Prototyps	225
Abbildung 66:	Erweiterte Grobarchitektur des FABMAS-Prototyps	228

x

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aufgaben und Merkmale der Organisationsebenen	50
Tabelle 2:	Marktkräfte	53
Tabelle 3:	Prioritätsregeln	62
Tabelle 4:	Klassifikation und Eigenschaften von Agenten	64
Tabelle 5:	Typologie interorganisationaler Netzwerke	87
Tabelle 6:	Merkmale der Logistiknetzwerke	90
Tabelle 7:	Maßnahmen und Auswirkungen der Netzwerkbildung auf die Unternehmensziele	98
Tabelle 8:	Agenten in den Funktionsbereichen eines Unternehmens.....	135
Tabelle 9:	FIPA-Spezifikationen für den Aufbau von Agentensystemen	139
Tabelle 10:	Agententypen in der Sekundärrohstofflogistik	148
Tabelle 11:	Struktur einer FIPA-ACL-Nachricht	151
Tabelle 12:	Konzeptklassen für die Ontologieerstellung.....	159
Tabelle 13:	Modellierungsansätze für die Entscheidungsfindung in der Reverse Logistics.....	170
Tabelle 14:	Struktur der deutschen Rohstoffimporte im Jahr 2009, Anteile am Gesamteinfuhrwert in %	217
Tabelle 15:	Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten von Legierungsmetallen.....	220
Tabelle 16:	Dispositionstechniken in der Halbleiterfertigung	226

Abkürzungsverzeichnis

ACL	Agent Communication Language
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BRIC	Brasilien, Russland, Indien, China
BTO	build-to-order
BTS	build-to-stock
CCI	Continuous Commodity Index
CLM	Council of Logistics Management
CLM	Closed-Loop Management
CLSC	Closed-Loop Supply Chains
CLSCM	Closed-Loop Supply Chain Management
CNC	Computerized Numerical Control
CNP	Contract Net Protocol
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
DCNP	Demand and Capacity Network Planning
ECR	Efficient Consumer-Response
EDF	Earliest Deadline First
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EOQ	Economic Order Quantity
FIPA	Foundation for Intelligent Agents
FMS	Flexible Manufacturing Systems
FuE	Forschung und Entwicklung
GA	Genetic Algorithm
HWWI	Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Institut
IHK	Industrie- und Handelskammer
IOP	Internet Inter-ORB Protocol
IT	Informationstechnik
JIS	Just-In-Sequence
JIT	Just-In-Time
KI	Künstliche Intelligenz
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language

KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
KVK	Karlsruher Virtueller Katalog
MAS	Multiagentensystem
MASIF	Mobile Agent System Interoperability Facility
MCF	Minimum Cost First
MetaMorph	Adaptive Multi-Agent Manufacturing System Architecture
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MRP	Material Requirements Planning
OMG	Object Management Group
ORB	Object Request Broker
PROSA	Product-Resource-Order-Staff-Architecture
RFID	Radio Frequency Identification
SA	Simulated Annealing
SCM	Supply Chain Management
SCOR-Model	Supply Chain Operations Reference-Model
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities und Threats
TUL	Transport, Umschlag, Lagerung
VKI	Verteilte künstliche Intelligenz
VU	Virtuelle Unternehmen
WLAN	Wireless Lan
YAMS	Yet Another Manufacturing System

1 Einleitung

Unternehmen streben danach, ihre Produktionsprozesse in geplanter Art und Weise ausführen zu können. Dazu benötigen sie Produktionsfaktoren, die in erforderlicher Weise und in hinreichendem Umfang zum Zeitpunkt des Bedarfs zur Verfügung stehen. Das heißt, Maschinen, Mitarbeiter und Material müssen zum Starttermin der Auftragsbearbeitung vorhanden sein. Die Produktionsleitung verantwortet und sichert für einen vorliegenden Auftragsumfang unter Berücksichtigung der Beschaffung und Logistik die Versorgung der Produktion mit Material-, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen.

In einigen Branchen haben sich bei bestimmten Rohstoffen in jüngerer Vergangenheit Verknappungstendenzen gezeigt. Nicht zuletzt diese Entwicklung, vielleicht ebenso wie eine ansteigende politische sowie gesellschaftliche ökologische Orientierung, befördern Ansätze, welche die Nutzung von Sekundärrohstoffen, also aus Altprodukten und Reststoffen zurück gewonnenen Materialien, stärker beleuchten. Durch intensive Sekundärrohstoffnutzung hoffen Unternehmen, die Rohstoffverfügbarkeit sichern zu können. Allerdings scheinen bislang etablierte Ansätze – vornehmlich der Entsorgungslogistik – nicht hinreichend auf die Anforderungen der Verarbeiter der Sekundärrohstoffe zugeschnitten zu sein. So befindet sich dieses produktionsbeeinflussende Logistikfeld in einer lebhaften Diskussion in Wissenschaft und Unternehmenspraxis. Eine Frage ist darauf fokussiert, wie das Feld der Sekundärrohstofflogistik aus organisatorischer Sicht strukturiert werden kann. Innovative Rückführungslogistikmaßnahmen bilden einen denkbaren Ansatz und sollen in dieser Arbeit betrachtet werden.

Die zunehmende Verknappung der natürlichen Rohstoffvorkommen ermöglicht der Rückführungslogistik (engl. Reverse Logistics)¹ ein hohes Wachstumspo-

¹ Der Begriff Rückführungslogistik leitet sich aus dem englischen Begriff Reverse Logistics ab. Die Begriffe werden in der Arbeit synonym verwendet. Das Wissenschaftsgebiet der Reverse Logistics wird in Kapitel 2 ausführlich dargestellt.

tential. Das Wirtschaftswachstum in den BRIC-Nationen² sowie in den meisten nordamerikanischen und europäischen Ländern führt zu einer steigenden Rohstoffnachfrage und höheren Rohstoffpreisen. Das wachsende ökologische Interesse sowie das Nachhaltigkeitsdenken der Bevölkerung und politische Maßnahmen wie beispielsweise das im Jahr 1996 in Kraft gesetzte Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) ziehen eine Schließung der Stoffkreisläufe nach sich.

Betroffen ist vor allem die Rohstoff verarbeitende Industrie wie beispielsweise die Energieerzeuger, Metall- und Elektroindustrie, Chemie-, Baustoff-, Textil-, Glas- oder Papierindustrie. Für die Reaktion auf die knapper und teurer werdenden Rohstoffe haben sie die Möglichkeit, die zur Produktion notwendigen Primärrohstoffe partiell durch Sekundärrohstoffe zu ersetzen. Die Substitution der Primärrohstoffe wird durch die Schließung der Stoffkreisläufe begünstigt, da hierbei die Schonung primärer Ressourcen und die Nutzung sekundärer Materialien im Vordergrund stehen. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen ist in vielen Unternehmen bereits etabliert, sie wird jedoch in Zukunft für viele weitere Rohstoffarten Anwendung finden.

Die Schließung der Stoffkreisläufe setzt eine Erweiterung der Lieferkette oder der sogenannten Supply Chain (SC) zu Closed-Loop Supply Chains (CLSC) voraus. In den vergangenen Jahren sind in der Literatur Multiagentensysteme zur Steuerung und Koordination in der Supply Chain in den Fokus der Betrachtung gerückt. In Verbindung mit dem erweiterten Supply Chain-Gedanken und der Integration der Rückführungslogistik zu einer geschlossenen Lieferkette erscheint es sinnvoll, die Nutzung von Multiagentensystemen (MAS) ebenfalls zu erweitern.

Die Ausführungen in dieser Arbeit betrachten eine systemanalytische Strukturierung der Prozesse und den Einsatz von Multiagentensystemen im Bereich der rückführenden Logistik. In den folgenden Abschnitten werden die Problemstellung, die Vorgehensweise zur Lösung und der grundsätzliche Aufbau der Arbeit dargestellt.

² Brasilien, Russland, Indien, China

1.1 Problemstellung

Zahlreiche Güterproduzenten, die teilweise durch gesetzliche Regelungen zur Rücknahme ihrer Altprodukte und Reststoffe verpflichtet sind, bedienen sich zur Abwicklung von Rückführungslogistikleistungen spezialisierter Anbieter, wie etwa Händler dieser Materialien oder Recycling-Dienstleister. Die Bearbeitung der Entsorgungs- und Verwertungsaufträge erfolgt nicht mehr nur auf lokaler oder kommunaler Ebene, sondern sie erhält häufig eine länderübergreifende Dimension.³ Das ist für einzelne Akteure oftmals schwer abdeckbar. Netzwerkkombinationen bilden einen organisatorischen Weg auch größere Entfernungen zu überbrücken und die teils nicht gleichartigen Interessen bündeln und auf gemeinsame Ziele hinlenken zu können.⁴

Die Gewährleistung der Verfügbarkeit von Rohstoffen zur Sicherung stabiler Produktionsprozesse ist für viele Unternehmen ein wichtiger Bestandteil der operativen Produktions- und -programmplanung. Mit dem Fokus auf begrenzte oder beschränkt förderfähige Rohstoffvorkommen gewinnt dieser Sicherungsprozess an Bedeutung. Ein weiterer Anstieg des Rohstoffbedarfs, der beispielsweise durch Wachstumsprozesse in den Unternehmen und Volkswirtschaften sowie durch höhere Produktnachfragen hervorgerufen werden kann, intensiviert die Aktivitäten der unternehmerischen Rohstoffsicherung.⁵

Für Produktionsunternehmen, die Sekundärrohstoffe nutzen, stellen unregelmäßige Materialströme – die temporäre Nichtverfügbarkeit von Sekundärrohstoffen auf Grund der Nicht-Außerbetriebnahme eines alten Produktes – häufig ein erhebliches Problem dar. Haben sich Sekundärrohstoffe „aufbereitende“ Unternehmen zu einem Verbund zusammengefunden, vermögen sie unter Umständen derartige Unregelmäßigkeiten und Unsicherheiten der Rückstandsströme zu vermindern und etwaige Auswirkungen auf die Produktionssysteme zu minimieren.⁶

³ Vgl. Schmid 2009, S. 5-7.

⁴ Vgl. Sydow 1992, S. 1-6 und Sydow/Möllering 2009, S. 16-19.

⁵ Vgl. Bardt 2006, S. 3-5 und Biebeler et al. 2008, S. 18-19.

⁶ Vgl. Specht/Braunisch 2009, S. 242; Steven et al. 2003a, S. 646 und Steven 2004, S. 166-171.

Die Versorgung und Belieferung der Rohstoff verarbeitenden Unternehmen mit Sekundärrohstoffen setzt eine adäquate Produktions- und -programmplanung bei den Erzeugern von Sekundärrohstoffen voraus. Die Erzeuger benötigen für die Produktion von sekundären Materialien Rückstände, aus denen Sekundärrohstoffe extrahiert werden können und in den Wirtschaftskreislauf zurückfließen und den Sekundärrohstoffproduzenten zur Verfügung stehen.

Der zeitliche Anfall und Zustrom, die Art und Menge sowie die Qualität der Rückstände werden stark durch die Konsumenten beeinflusst. Das Gebrauchs- und Rückgabeverhalten der Konsumenten ist jedoch schwer zu prognostizieren, was dazu führt, dass die Sekundärrohstoffproduzenten regelmäßig einer unsicheren quantitativen und qualitativen Materialverfügbarkeit gegenüberstehen. Diese Unsicherheiten wirken sich negativ auf die Produktions- und Dispositionssysteme aus, da beim Eintreten unvorhergesehener Ereignisse in der Regel ein Nachdisponieren im Produktionsprozess erforderlich ist.

Für die Sicherung stabiler Produktionsprozesse, bedarf es kurzfristiger dynamischer Dispositionsstrategien in den Unternehmen, welche die langfristigen statischen Dispositionsentscheidungen ablösen. Dadurch kann die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen bedarfs- und kundengerecht befriedigt werden.

Für die Einführung und Realisierung einer dynamischen Disposition in den Unternehmen sind bestimmte Techniken und Instrumente notwendig, welche die Aufträge und Ressourcen in dynamischen Umgebungen terminieren, aufteilen und in die Produktionssysteme einsteuern. Eine Möglichkeit, dynamische Dispositionsprobleme zieladäquat zu lösen, besteht im Einsatz von Multiagentensystemen.

Die Kooperation in einem MAS kann sich über die gesamte Kette der Rückführungslogistik – entgegen der „normalen“ Flussrichtung gütererzeugender Lieferketten – erstrecken oder sich lediglich auf bestimmte, selektive Bereiche beziehen. Es ist möglich, dass sich die Aufbereiter von Sekundärrohstoffen in Verbünden zusammenschließen, wobei das Ziel die Zusammenführung der

zurücklaufenden und durch die beteiligten Unternehmen zu behandelnden Altprodukte und Reststoffe ist. Es soll eine kostengünstige Umsetzung des Recyclings erreicht werden. Eine weitere Variante sind partielle Bündnisse zwischen Recyclingdienstleistern. Sie organisieren sich in einem Netzwerk und treten Produktherstellern als eine Einheit gegenüber. Der Systemverbund der Recyclingdienstleister bietet den Herstellern eine komplette Übernahme der gesamten Verwertungs- und Entsorgungspflichten an. Spezialisierungs- und Größenvorteile dürften zu Kosten- und Preisvorteilen führen.

Die vorliegende Arbeit behandelt die genannten Punkte für die Produktion von Sekundärrohstoffen und liefert ein multiagentenbasiertes dynamisches Dispositionssystem für den Bereich der rückführenden Logistik.

1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Das erste Kapitel dient der Einführung in die Thematik der Arbeit und erörtert die Problemstellung im Bereich der rückführenden Logistik. Das zweite Kapitel zeigt den Stand der Forschung in der Logistik und Reverse Logistics. Es erfolgt eine Definition der Begriffe, die Darstellung der vorwärts- und rückwärtsgerichteten Logistik, die Herausstellung der Sekundärrohstofflogistik, die Vorstellung der konzeptionellen Durchführung dieser rückführenden Logistik und die Einordnung der Logistik in das Wissenschaftsgebiet des Supply Chain Managements (SCM).

Im dritten Kapitel wird die Dynamische Disposition behandelt. Dazu werden die Umfeldbedingungen in dem betrachteten Wirtschaftskomplex veranschaulicht, welche die Notwendigkeit und die Eignung der dynamischen Disposition für den Bereich der rückführenden Logistik darstellen. Die Ausführung geeigneter Dispositionstechniken und die Auswahl einer Methodik bilden den Abschluss des Kapitels.

Das vierte Kapitel beinhaltet die Erarbeitung und Beschreibung eines netzwerkbasierenden Systems zur Steuerung der dynamischen Disposition durch ein MAS im Bereich der rückführenden Logistik. Es wird die Notwendigkeit der

Steuerung und Koordination der Logistik beschrieben und ein Vorgehen für ein multiagentenbasiertes dynamisches Dispositionssystem für den Einsatz in der Sekundärrohstofflogistik entworfen. Das Vorgehen beinhaltet die Erarbeitung und Beschreibung der Architektur des Systems sowie die Darstellung zur Durchführung der dynamischen Disposition unter Einsatz verschiedener Algorithmen und Szenarien. Zum Ende des Kapitels wird überprüft, inwiefern die Anwendbarkeit, Einführung und Relevanz der Multiagentensteuerung bei den Unternehmen im Bereich der rückführenden Logistik gegeben ist. Im Weiteren erfolgt eine Selektierung der MAS-Steuerung, die im Besonderen auf die Modellierung der Recyclingwertschöpfungskette basiert und beispielhaft unterlegt. Die Ergebnisse und Nutzensvorteile werden abschließend diskutiert.

Ein Entwurf für die Bewertung des Vorgehens und die Beurteilung der Übertragbarkeit und Umsetzung in die betriebliche Praxis folgt in Kapitel fünf. Am Beispiel der Mikrochipindustrie wird die Praxistauglichkeit des Systems veranschaulicht.

Das letzte Kapitel fasst die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammen, zeigt die Grenzen der Anwendung des vorgestellten Systems auf und gibt Hinweise für den weiteren Forschungsbedarf.

Abbildung 1 stellt die Gliederung der Arbeit dar.

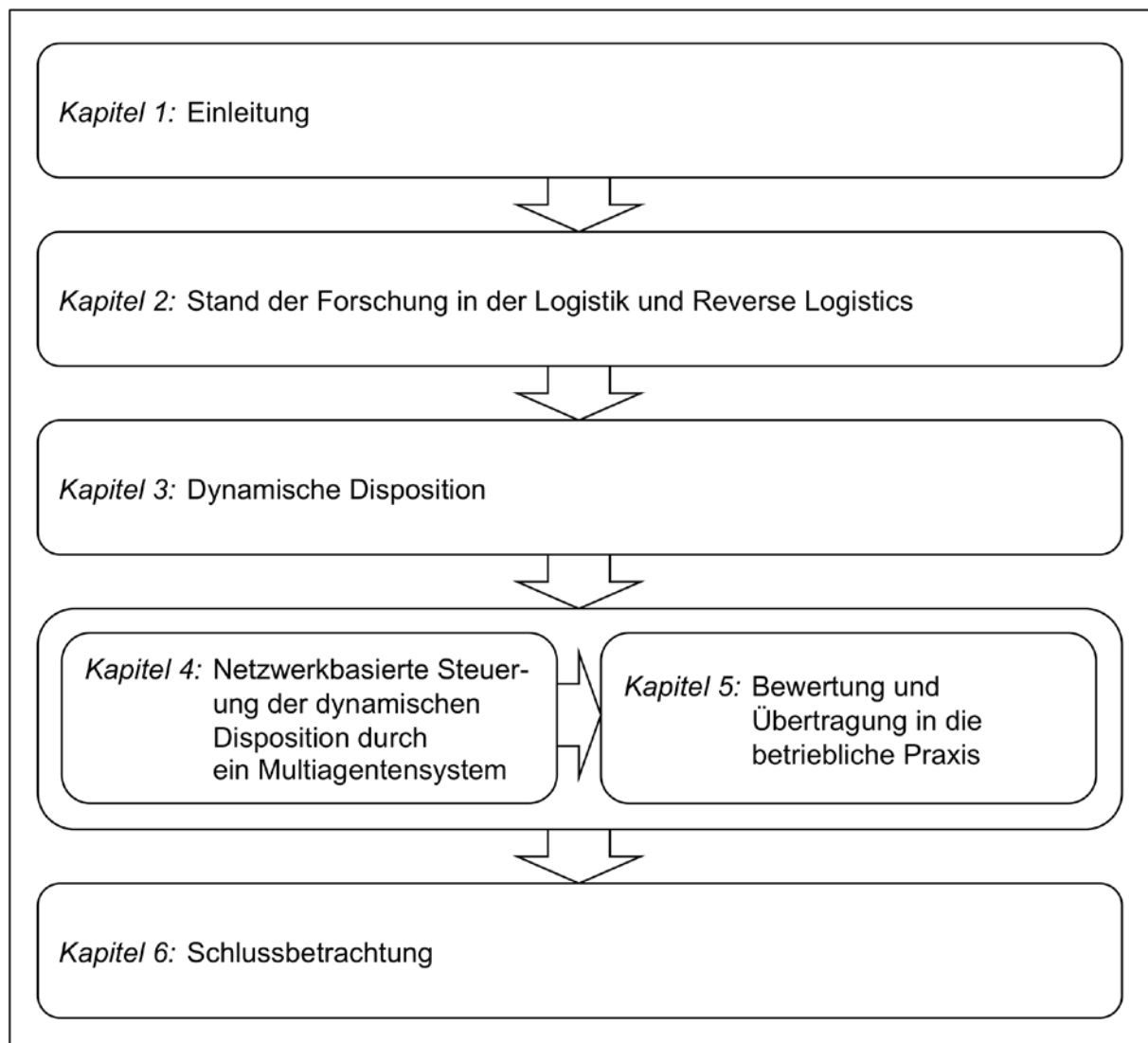


Abbildung 1: Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

2 Stand der Forschung in der Logistik und Reverse Logistics

Das folgende Kapitel ordnet die Logistik und die Reverse Logistics in den aktuellen Stand der Wissenschaft ein. Zunächst werden der Begriff der Logistik definiert, Gegenstand und Ziele, Aufgaben und Teilbereiche sowie die Bedeutung und Entwicklung der betrieblichen Teilfunktion Logistik dargestellt. Anschließend wird die Reverse Logistics betrachtet und das Teilsystem der Sekundärrohstofflogistik näher vorgestellt. Das Supply Chain Management und die Erweiterung der Wertschöpfungskette zum Closed-Loop Supply Chain Management werden am Ende des Kapitels erläutert.

2.1 Gegenstand und Ziele der Logistik

In der Literatur existiert eine Fülle von Definitionen zum Begriff der Logistik. Um eine Aneinanderreihung von Definitionen zu vermeiden, wird im Rahmen der folgenden Ausführungen auf die allgemeine Definition von *Jünemann* verwiesen. Die Definition betont die wissenschaftliche Bedeutung der Logistik:⁷

„Logistik ist die wissenschaftliche Lehre der Planung, Steuerung und Überwachung der Material-, Personen-, Energie- und Informationsflüsse in Systemen.“

Der Begriff der Logistik hat in der Geschichte einen sehr frühen Ursprung und trat erstmals in den 1950er Jahren mit der Veröffentlichung „Note of the Formulation of the Theory of Logistics“ von *Morgenstern*⁸ in der Betriebswirtschaftslehre in Erscheinung.⁹ In Deutschland erschienen die ersten wissenschaftlichen Veröffentlichungen¹⁰ zum Thema Logistik in den 1970er Jahren.¹¹ Ab den 1980er Jahren hat sich die Logistik aufgrund von zunehmend komple-

⁷ Jünemann 1989, S. 11. Vgl. hierzu auch Balsliemke 2004, S. 14.

⁸ Vgl. Morgenstern 1955, S. 129-136.

⁹ Vgl. Schulte 2009, S. 1 und Weber/Kummer 1998, S. 1-2.

¹⁰ Vgl. hierzu beispielsweise Pfohl 1970; Kirsch 1971 oder Ihde 1972.

¹¹ Vgl. Balsliemke 2004, S. 12 und Weber/Kummer 1998, S. 3.

xeren und volatileren Marktbedingungen sowie Kunden- und Lieferantenbeziehungen zu einem wichtigen Arbeitsgebiet entwickelt und bedeutenden Einfluss auf den Unternehmenserfolg genommen.¹²

Zunächst beschränkten sich die Aufgaben der Logistik auf die Beschaffung und die Distribution von Gütern. In dieser Phase stand die Optimierung der Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse (TUL-Prozesse) im Vordergrund. In den 1980er Jahren fand eine Auflösung dieser Logistik-Perspektive statt. Die existierenden logistischen Konzepte wie beispielsweise Kanban oder Just-In-Time (JIT) wurden zunehmend in die internen Unternehmensbereiche integriert. Die Logistik wurde als Querschnittsfunktion verstanden, welche die funktionsübergreifenden Abläufe aufeinander abstimmte. Die entstandenen Teillogistiksysteme wurden im weiteren Verlauf miteinander verknüpft und führten in neuerer Zeit zu weltweiten, unternehmensübergreifenden Logistik-Konzeptionen. Der Prozess der Schaffung ganzheitlicher Systeme wurde entscheidend durch die Entwicklungen im Bereich der Informationstechnologie unterstützt.¹³ Abbildung 2 stellt die Entwicklung der Logistik im Überblick dar.

¹² Vgl. Frille 2001, S. 77 und Schulte 2009, S. 1.

¹³ Vgl. Ehrmann 2005, S.26-27; Straube 2007, S. 999 und Balsliemke 2004, S. 12-13.

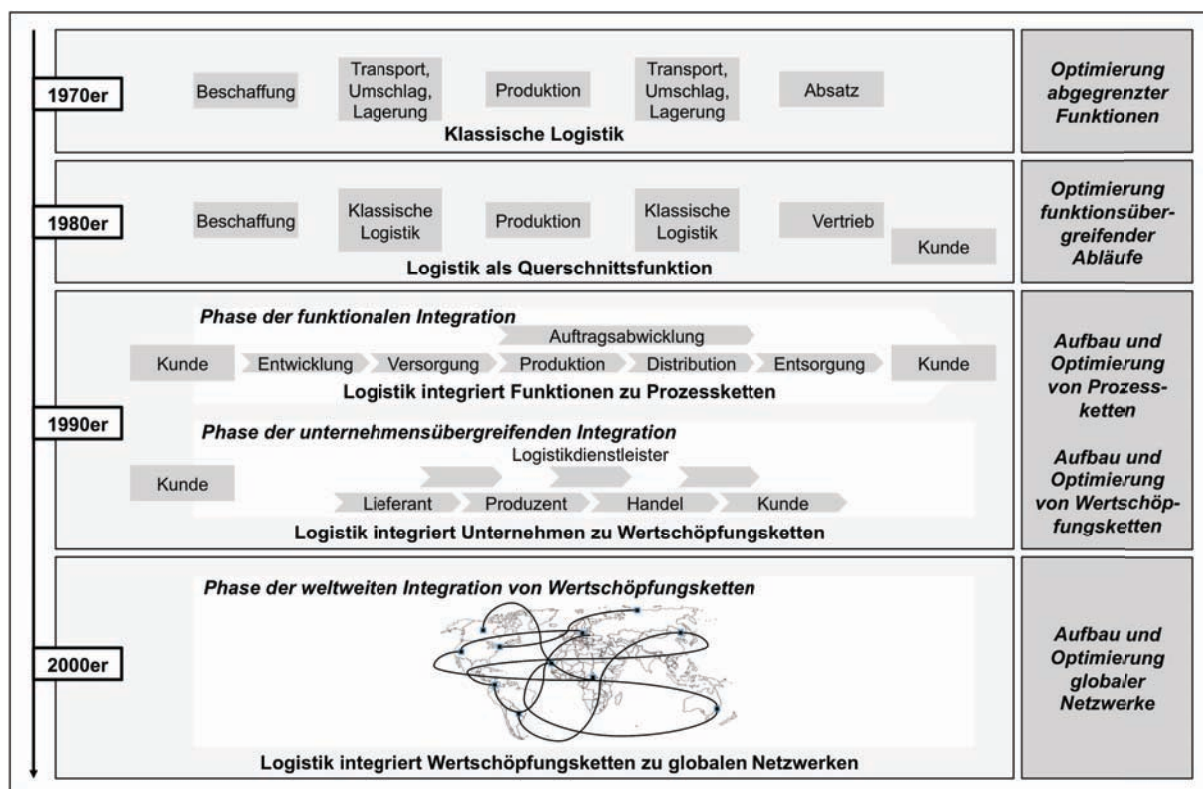


Abbildung 2: Entwicklung der Logistik (Quelle: Baumgarten/Walter 2001, S. 2)

Der Gegenstand der Logistik ist die raum-zeitliche Gütertransformation von einem Start- zu einem Endpunkt. Für eine möglichst effiziente Durchführung der Logistik kann auf die sogenannten „r’s“ der Logistik zurückgegriffen werden. Sie charakterisieren die Anforderungen für eine bedarfsgerechte Belieferung des Empfängers. Dementsprechend sollen

- die richtigen Güter,
- in der richtigen Menge,
- zur richtigen Zeit,
- am richtigen Ort,

beim Adressaten bereitgestellt werden.¹⁴ Die nach *Pfohl* definierten vier „r’s“ erweiterte *Jünemann* um

- die richtige Qualität und
- die richtigen Kosten.¹⁵

¹⁴ Vgl. *Pfohl* 2010, S. 12 und *Pfohl* 1972, S. 28-29.

¹⁵ Vgl. *Jünemann* 1989, S. 18.

Jetzke geht in seinen Ausführungen noch weiter und ergänzt die „r’s“

- mit den richtigen Daten und
- dem richtigen Wissen

auf insgesamt acht. Die „r’s“ der Logistik sind im realen Wirtschaftsleben schwer umzusetzen, da in der Praxis oft nicht präzise bestimmt werden kann, was beispielsweise die richtige Qualität ist.¹⁶ Des Weiteren dürfen die „r’s“ der Logistik nicht separat betrachtet werden. Sie bilden eine Gesamtfunktion, die eine ganzheitliche Logistik realisieren.¹⁷

Das Ziel der Logistik ist, unter Berücksichtigung allgemeiner ökonomischer Interessen und im Rahmen eines marktorientierten Managements, die effizienteste, bedarfs- und kundengerechte Leistungserstellung sicherzustellen.¹⁸ Die Komponenten für die Zielerreichung sind die *Logistikleistung* und die *Logistikkosten*, wobei die Leistungsmaximierung und die Kostenminimierung beim Einsatz bestimmter Ressourcen im Vordergrund stehen.

Die *Logistikleistung* wird im Wesentlichen durch die Kriterien Lieferzeit, -zuverlässigkeit, -flexibilität und -qualität geprägt. Die *Lieferzeit* ist die Dauer von der Auftragserteilung bis zur Bereitstellung beim Kunden. Die *Lieferzuverlässigkeit* gibt die Einhaltung der vereinbarten Lieferzeit wieder. Die *Lieferflexibilität* stellt die Fähigkeit des logistischen Systems zur Reaktion auf verschiedene Kundenwünsche dar. Die Einhaltung der genauen Arten und Mengen sowie die Zustände der Güter werden durch die *Lieferqualität* ausgedrückt.¹⁹

Logistikkosten entstehen bei der Planung, Durchführung und Kontrolle von logistischen Prozessen. Sie können je nach Art der Leistung, der Funktion oder des Teilprozesses in Steuerungs- und Systemkosten, Bestands-, Lager-, Transport- und Handlingkosten unterschieden werden. Die Kosten beinhalten spezifische Logistikkosten für die jeweilige Logistikleistung und logistische Zu-

¹⁶ Vgl. Jetzke 2007, S. 11-12.

¹⁷ Vgl. Ehrmann 2005, S. 25.

¹⁸ Vgl. Schulte 2009, S. 7; Arnold et al. 2008, S. 7 und Heiserich 2000, S. 16.

¹⁹ Vgl. Schulte 2009, S. 7-9 und Arnold et al. 2008, S. 7-8.

satzkosten, die für Neben- und Zusatzleistungen anfallen. Bestandteile der Logistikkosten sind beispielsweise Personalkosten, Raum- und Flächenkosten, Betriebsmittel-, Ladungsträger- oder auch IT-Kosten.²⁰

2.2 Aufgaben und Teilbereiche der Logistik

Die Aufgaben der Logistik sind abhängig von den jeweiligen Teilbereichen der logistischen Kette, in denen sie angesiedelt sind und bestimmte Prozesse durchführen, sehr unterschiedlich. Die logistische Kette eines Unternehmens gliedert sich in die klassischen Bereiche Beschaffung, Produktion und Distribution. Für eine ganzheitliche Betrachtung der Logistikaufgabe wurde die Entsorgung in die inner- und außerbetrieblichen Abläufe als viertes Teilgebiet einbezogen.²¹

Die Beschaffung bildet die Schnittstelle zwischen den Unternehmen und den Lieferanten auf den Beschaffungsmärkten. Unter Beschaffung wird im Allgemeinen die Versorgung der Unternehmen mit Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen verstanden. Zu den Aufgaben der Beschaffung gehören unter anderem die Suche nach geeigneten Lieferanten, der Abschluss von Verträgen und die Initiierung der Durchführung von Lieferungen. Die Beschaffungslogistik umfasst die Planung und Gestaltung sowie die physische Durchführung der Material- und Informationsflüsse von den Lieferanten zu den produzierenden Unternehmen. Sie dient des Weiteren der Lagerhaltung und -verwaltung im Wareneingang sowie dem innerbetrieblichen Transport der Materialien für die Bereitstellung in der Produktion.²²

In der Produktion erfolgt durch die Kombination von Inputgütern ein Wertschöpfungsprozess, bei dem wertgesteigerte Outputgüter entstehen.²³ Die Aufgabenbereiche der Produktion und des produktionswirtschaftlichen Systems lassen sich nach *Kern* in die Produkt- und Programmgestaltung, die Po-

²⁰ Vgl. Gudehus 2005, S. 148-151 und Schulte 2009, S. 10.

²¹ Vgl. Arnold et al. 2008, S. 487.

²² Vgl. Vahrenkamp 2007, S. 203 und Schulte 2009, S. 267-268.

²³ Vgl. Günther/Tempelmeier 2007, S. 2 und Fandel 2005, S. 1.

tentialgestaltung sowie die Prozessgestaltung und -steuerung gliedern.²⁴ Die Produktionslogistik beschäftigt sich mit dem innerbetrieblichen Material- und Informationsfluss aller Einsatzstoffe über die Stufen des Fertigungsprozesses bis hin zum Warenausgangslager.²⁵ Die Aufgaben der Produktionslogistik sind nicht überschneidungsfrei mit den Aufgaben der Produktion. Einzelne Autoren zählen beispielsweise die Produktionsplanung und -steuerung, die Programm- oder auch die Fabrikplanung zum Funktionsbereich der Produktionslogistik.²⁶ In dieser Arbeit liegen die Aufgaben der Produktionslogistik in der Auftragsannahme und -abwicklung, der Bestandsplanung und dem Bestandscontrolling, dem Logistikflächenmanagement, der Lagerhaltung, dem innerbetrieblichen Transport sowie der Durchlaufzeiten- und Kommissionierungssteuerung.²⁷

Die Distribution stellt die Gesamtheit der absatzwirtschaftlichen Aktivitäten dar, die zur Überführung eines Produktions- oder Absatzgutes von den Herstellern und Produzenten zu den Konsumenten notwendig sind. Die Distribution oder auch Distributionspolitik eines einzelnen Unternehmens beinhaltet die Definition von Distributionszielen, die Auswahl einer geeigneten Distributionsstrategie sowie die Planung und Gestaltung der Distributionsstruktur und -prozesse.²⁸ Für die Ausführung der Distributionsprozesse ist die Distributionslogistik zuständig. Sie ist das Bindeglied zwischen den produzierenden Unternehmen und den Kunden auf der Absatzseite und dient der Versorgung des Marktes mit Waren. Die Aufgaben der Distributionslogistik umfassen beispielsweise die Auftragsabwicklung, Lagerung, Kommissionierung, Verpackung, Ladungssicherung und den Transport der Waren.²⁹

Die Bedeutung der Entsorgung als viertes klassisches Teilgebiet der Logistik wurde wesentlich durch gesetzliche Vorschriften, wie beispielsweise das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) geprägt. Die Entsorgung

²⁴ Die Aufgabenbereiche sollen in diesen Ausführungen aufgrund von inhaltlichen und kapazitären Restriktionen nicht näher thematisiert werden. Vgl. hierzu Kern 1992, S. 82-83 und Corsten 2009, S. 2-3 und 24-28.

²⁵ Vgl. Heiserich 2000, S. 12.

²⁶ Vgl. Wiendahl 2003, S. 9-11; Bauer 2009, S. T 1 und Schulte 2009, S. 345.

²⁷ Vgl. Baumgarten/Buscher 2003, S. 2-3 und Frille 2001, S. 82-83.

²⁸ Vgl. Delfmann 1999, S. 182.

²⁹ Vgl. Wannenwetsch 2010, S. 379 und Ihde 1999, S. 121.

befasst sich mit der Entfernung und Beseitigung von Abfällen und Reststoffen aus der logistischen Kette.³⁰ Die Durchführung der zur Entsorgung notwendigen Aktivitäten übernimmt die Entsorgungslogistik. Sie sorgt für die Auftragsabwicklung, die Sammlung und Trennung, die Behälterwahl, den Transport und Umschlag sowie gegebenenfalls die Lagerung der anfallenden Abfälle und Reststoffe zu den Entsorgungsstationen.³¹

Die logistische Kette mit ihren Teilbereichen und den jeweiligen Aufgaben ist in Abbildung 3 zusammengefasst.

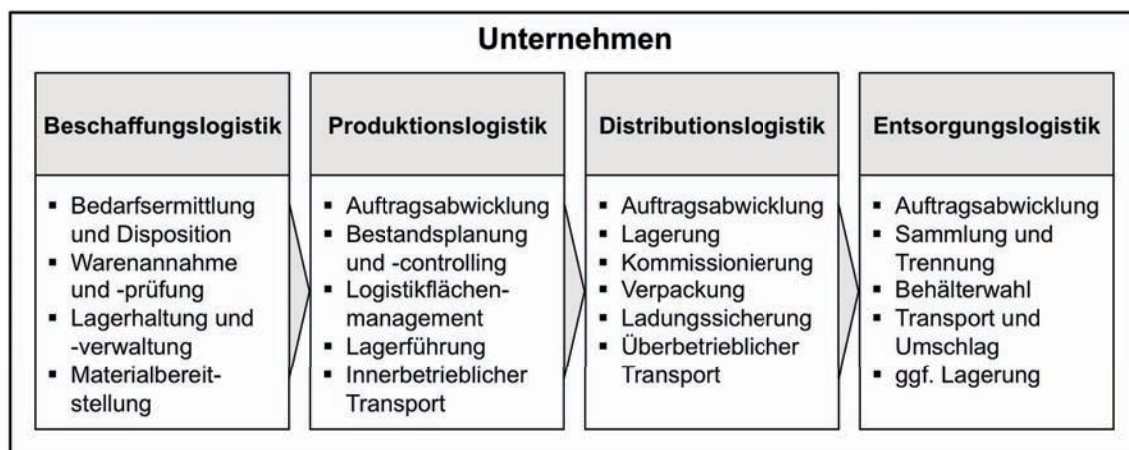


Abbildung 3: Teilbereiche und Aufgaben der logistischen Kette

2.3 Bedeutung und Entwicklung der betrieblichen Teilfunktion Logistik für Unternehmen

2.3.1 Wertbeitrag der Logistik

Die Bedeutung der Logistik hat sich für die Unternehmen im Lauf der Zeit zunehmend verändert. In früheren Logistikkonzeptionen lag der Fokus auf der Entwicklung von Methoden und Instrumenten für die Optimierung materialwirtschaftlicher und informationstechnischer Prozesse. Später rückte der Wert der Logistikleistungen für Unternehmen in den Vordergrund. Dabei drückt sich der Wert der Logistik in einem Beitrag zur Wertschöpfung in der betrieblichen Leistungserstellung oder in der Wertsteigerung eines Unternehmens aus. Die

³⁰ Vgl. Vahrenkamp 2007, S. 235 und Heiserich 2000, S. 12.

³¹ Vgl. Pfohl/Stölzle 1992, S. 580-581.

Wertorientierung der Logistik trägt zum Erfolg eines Unternehmens bei und unterstützt so die Erreichung der Unternehmensziele. Sie wird in Zukunft weiter an Einfluss gewinnen.³²

Die Wertschöpfung beinhaltet unter anderem Transformations-, Transfer- oder Transaktionsprozesse. Diese Prozesse bilden bei ihrer Durchführung relative Werte, die in den Gebrauchswert der Güter einfließen. Transformations- und Transaktionsprozesse erzeugen den Eignungswert und stellen die rechtliche Verfügbarkeit der Güter her. Die Transferprozesse hingegen induzieren durch die raum-zeitliche Gütertransformation die örtliche beziehungsweise tatsächliche Verfügbarkeit der Güter. Die tatsächliche Verfügbarkeit stellt für den Kunden einen zusätzlichen Nutzen dar, der den Gebrauchswert der Güter erhöht. Die Logistik kann daher als Wertschöpfungsprozess in Form einer Dienstleistung verstanden werden.³³

Eine größere Bedeutung wird der Logistik bei ihrem Beitrag zur Steigerung des Unternehmenswertes zugeschrieben. Der Unternehmenswert setzt sich aus dem Fremd- und Eigenkapital zusammen.³⁴ Jede Unternehmensführung verfolgt das strategische Ziel, durch Maßnahmen für Ertragssteigerungen und/oder Kostenminimierungen den Wert des Unternehmens zu beeinflussen und dadurch zu erhöhen. Die Logistik als bereichsübergreifende Funktion im Unternehmen hat ein erhebliches Potential, bei dem Erreichen finanzwirtschaftlicher Ziele und somit bei der Wertsteigerung des Unternehmens mitzuwirken. Effiziente und effektive Logistikaktivitäten wirken sich positiv auf die Entwicklung des Umsatzes und den Cash-Flow aus.³⁵ Einen potentiellen Mehrumsatz bieten beispielsweise kurze Lieferdurchlaufzeiten und eine hohe Lieferzuverlässigkeit. Dadurch können die logistischen Kundenbedürfnisse besser befriedigt werden. Diese Leistungsmerkmale können von den Kunden als kaufentscheidendes Argument empfunden werden und erhöhen so das Absatzpotential. Logistikkonzepte wie Just-In-Time (JIT), Just-In-Sequence

³² Vgl. Wildemann 2004, S. 67-68; Pfohl 2004, S. 49 und Schnetzler et al. 2007, S. 91.

³³ Vgl. Pfohl 2004, S. 49-50.

³⁴ Vgl. Meyer 2007, S. 132 und Pfohl 2004, S. 63. Vgl. für eine detaillierte Beschreibung des Unternehmenswerts Rappaport 1995; Rappaport 1986 oder auch Copeland et al. 2002.

³⁵ Vgl. Pfohl et al. 2008, S. 93-94.

(JIS), Kanban oder Milk-Run ermöglichen zusätzlich eine Kostensenkung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Logistiksystems im Unternehmen. Dies resultiert unter anderem aus der Rationalisierung der Material-, Informations- aber auch Finanzflüsse und der Reduzierung der durch die Lagerhaltung verursachten Kosten.³⁶ Die genannten Aspekte sollen veranschaulichen, dass durch Umsatzerhöhung und/oder Kostenreduzierung in der Lieferkette eines Unternehmens ein unmittelbarer Einfluss auf den Unternehmenswert möglich ist und dieser durch den Einsatz effizienter Methoden erhöht werden kann.³⁷

2.3.2 Entwicklungen in der Logistik

Die Logistik steht heute und zukünftig vor vielfältigen Herausforderungen. Die beschleunigte Veränderung heutiger Marktbedingungen und Kundenanforderungen setzen eine erhöhte logistische Leistungsfähigkeit voraus. Die zunehmende Menge an Warenströmen, die erhöhte Variantenvielfalt der Produkte, steigender Konkurrenz- und Kostendruck sowie die Forderung nach mehr Flexibilität bei der logistischen Leistungserfüllung führen zu immer komplexeren Material- und Informationsflüssen.³⁸ In der Literatur und in der Praxis sind verschiedene Entwicklungstendenzen zu beobachten, die für diese Arbeit nicht alle von Bedeutung sind. Im folgenden wird daher nur eine Auswahl von Entwicklungen betrachtet.

Eine der zentralen Herausforderungen und ein wichtiger Trend in der Logistik ist die Globalisierung. Die Internationalisierung der Beschaffungs- und Absatzmärkte sowie der Produktionsstandorte erfordern eine globale Gestaltung der logistischen Prozesse und Konzepte. Die Treiber der Globalisierung sind die weltweite Zusammenarbeit der Volkswirtschaften, der freie Welthandel der Güter sowie Outsourcing- und Offshoringaktivitäten der Unternehmen, woraus eine globale Arbeitsteilung resultiert. Vermutlich werden im Jahr 2020 80 Prozent aller weltweit produzierten Güter in grenzüberschreitenden Lieferketten

³⁶ Vgl. Schnetzler et al. 2007, S. 95; Sennheiser/Schnetzler 2008, S. 23 und Wildemann 2008, S. 24.

³⁷ Vgl. Pfohl et al. 2008, S. 94.

³⁸ Vgl. Wildemann 2008a, S. 20; Wildemann 2008b, S. 165 und Windt/Hülsmann 2007, S. 1.

behandelt und transportiert.³⁹ Diese internationale, unternehmensinterne und -übergreifende Wertschöpfungsstruktur verlangt ein ausgeprägtes Verständnis für ein effektives und effizientes Logistikmanagement in der betrieblichen Leistungserstellung eines Unternehmens.⁴⁰

Bei einer globalen Standort-, Arbeits- und Güterverteilung sind in der Regel mehrere Unternehmen an der Lieferkette beteiligt. Dies erfordert eine enge Verzahnung der unternehmerischen Tätigkeiten und Fähigkeiten. Die weltweit integrierte Betrachtung der logistischen Prozesse setzt systematisches Denken für die raum-zeitliche Gütertransformation voraus.⁴¹ Die Logistiksysteme⁴² der einzelnen Unternehmen müssen für eine globale Wertschöpfung in Form von Unternehmenskooperationen zu einem Netzwerkverbund zusammengeführt werden. Unternehmens- oder Logistiknetzwerke spiegeln ein Geflecht von organisatorischen Beziehungen wider und zielen auf die Realisation eines gemeinsamen Ergebnisses im Sinne von Wettbewerbsvorteilen ab.⁴³ Logistiknetzwerke stellen meist gesamte Wertschöpfungsketten von der Beschaffung über die Produktion und Distribution bis hin zur Entsorgung dar.

Die Aufgabe eines Logistiknetzwerks besteht in der Optimierung der logistischen Ziele des Gesamtsystems wie beispielsweise die Verringerung der Durchlaufzeiten, das Halten niedriger Bestände, die Erreichung einer hohen Lieferfähigkeit und Termintreue oder die Reduzierung des Steuerungsaufwands der Material- und Informationsflüsse.⁴⁴ Das Fortführen dieses logistischen Konzepts in Verbindung mit einem Wandel der Logistik von einer Un-

³⁹ Vgl. Lasch et al. 2006, S. 289; Stabenau 2008, S. 27-28; Ballou 2006, S. 382 und Specht/Lutz 2007, S. 43-45.

⁴⁰ Vgl. Bogaschewsky/Kohler 2010, S. 1177 und Schönsleben 2007, S. 7-8.

⁴¹ Vgl. Pfohl 2010, S. 308-309; Lasch et al. 2006, S. 289-290 und Winter 2008, S. 31-32.

⁴² Logistiksysteme umfassen in der Regel alle Material- und Informationsflüsse von den Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses bis zu den Verbrauchern. Im Extremfall erstreckt sich das Logistiksystem von den Lieferanten der Lieferanten bis zu den Kunden der Kunden. Vgl. Waldruff 2007, S. 167; Gudehus 2005, S. 567 oder auch Winter 2008, S. 11-39.

⁴³ Vgl. Corsten 2001, S. 2-4.

⁴⁴ Vgl. Specht/Braunisch 2009, S. 246.

ternehmensfunktion zu einer strategischen Führungskonzeption wird in der Literatur als Supply Chain Management⁴⁵ (SCM) bezeichnet.⁴⁶

Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, ist eine ausgeprägte Orientierung an den Bedürfnissen und Wünschen der Kunden erforderlich. Die Produkte der weltweiten Konkurrenten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Gebrauchsfähigkeiten nur unwesentlich voneinander. Dies führt zu einer erhöhten Substituierbarkeit der vorhandenen Produkte. Aus diesem Grund gewinnen logistische Leistungen, die einen Zusatznutzen für den Kunden bieten, an Bedeutung. Neben individualisierten Produkten und steigenden Produkthanforderungen sind zusätzliche Versorgungs- und Lieferserviceleistungen entscheidend.⁴⁷ Dabei handelt es sich in erster Linie um Sekundärleistungen, die über das Angebot der Haupt- und Primärleistungen hinausgehen. Zu diesen zählen beispielsweise die Bereitstellung kundenindividueller Leistungspakete oder Problemlösungen, die Vereinbarung individueller Liefertermine und -servicegrade oder die kundenorientierte Konzeption von Produktions-, Fabrik- oder Lagerstrukturen. Das Logistikunternehmen übernimmt für diese Serviceleistungen die Kosten oder versucht sie über den Produktpreis zu verrechnen. Die zusätzlichen Kosten können aber auch über eine höhere Absatzmenge gedeckt werden.⁴⁸ Für den Erhalt der Kundenloyalität ist der Einsatz von Kundenbindungsmaßnahmen erforderlich.⁴⁹ Ein Schlüsselfaktor für Kundenbindung ist die Sicherstellung und Steigerung der Kundenzufriedenheit, die durch positive Erfahrungen der Kunden in der logistischen Leistungserstellung erreicht werden kann.⁵⁰

Ein bisher bei vielen Unternehmen noch unberücksichtigter Faktor ist die zunehmende Verknappung und Verteuerung von Rohstoffen.⁵¹ Das wirtschaftliche Wachstum in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern führte verstärkend zu einer Steigerung der Rohstoffnachfrage. Bis zum Jahr 2030 wird eine

⁴⁵ Nähere Ausführungen zum Supply Chain Management in Abschnitt 2.5.

⁴⁶ Vgl. Fandel et al. 2009, S. 4 und Bogaschewsky/Kohler 2010, S. 1177.

⁴⁷ Vgl. Pfohl 2010, S. 33; Baumgarten/Walter 2001, S. 40 und Straube 2007, S. 1003.

⁴⁸ Vgl. Pfohl 2010, S. 34 und Wildemann 2007, S. 109.

⁴⁹ Vgl. Straube 2007, S. 1003.

⁵⁰ Vgl. Homburg/Koschate 2007, S. 849-850.

⁵¹ Vgl. zu Verknappung und Verteuerung von Materialrohstoffen auch Abschnitt 2.4.2.2.

Verdoppelung des weltweiten Rohstoffbedarfs prognostiziert. Die natürlich begrenzten Rohstoffvorkommen sowie das teilweise Versiegen von Rohstoffquellen ziehen eine Erhöhung der Rohstoffpreise nach sich. Der Rohstoffpreisindex des Hamburgischen Weltwirtschaftsinstituts (HWWI), der in Abschnitt 2.4.2.2 gezeigt wird, bestätigt diese Entwicklung. Zudem können bestimmte Rohstoffe wie beispielsweise Zink, Zinn oder Kupfer in der Zukunft kostengünstiger als Sekundärrohstoffe wiedergewonnen werden, was einerseits an den ausgeschöpften Rohstoffvorkommen und andererseits an den begrenzten Explorations- und Abbaumöglichkeiten liegt.⁵²

Eine bedeutende Entwicklung in der Logistik ist auch in einem Paradigmenwechsel von zentralisierten hierarchischen zu dezentralen heterarchischen Steuerungs- und Planungsstrukturen zu erkennen.⁵³ Die wachsende Prozesskomplexität in den globalen Logistiknetzen, die Dynamik der Märkte sowie die steigende Produktvielfalt und -variation stellen hohe Anforderungen an die Material- und Informationsflüsse. Diese können in den veralteten zentralen Planungs- und Steuerungssystemen nur unzureichend erfüllt werden.⁵⁴ Zentrale Planungsvorgänge basieren auf prognostizierbaren Durchlaufzeiten beziehungsweise fixen Operationszeiten und erfolgen zeitlich weit vor der Bearbeitung eines Produktionsauftrages. Eine Rückkopplung zu anderen Teilsystemen oder zeitnahe Änderungen sind nicht vorgesehen. Eine kurzfristige Reaktion auf schwankende Kundennachfragen, unerwartete Störungen oder sonstige Ereignisse kann in dieser Planung nur schwer sachgerecht berücksichtigt werden. Dadurch wird die ordnungsgemäße Leistungserstellung in der Logistik und Produktion beeinflusst.

Der Ergänzungsbedarf konventioneller Planungs- und Steuerungssysteme verlangte eine Weiterentwicklung und Reorganisation der Logistik- und Produktionssysteme.⁵⁵ Der Einsatz neuartiger Informations- und Kommunikationstechnologien wie beispielsweise Bluetooth, Wireless Lan (WLAN), Radio Fre-

⁵² Vgl. Gerschwiler et al. 2008, S. 84-88; Biebeler 2008, S. 16-17; Specht/Braunisch 2008, S. 875-876 und Hennicke 2009, S. 3-24. Vgl. hierzu auch Tiess 2009, S. 55-97; Walther et al. 2008, S. 419-422 oder Buchholz 2008, S. 11-17.

⁵³ Vgl. Scholz-Reiter et al. 2004, S. 357 und Teuteberg 2007, S. 15.

⁵⁴ Vgl. Windt/Hülsmann 2007, S. 1 und Wildemann 2008a, S. 2.

⁵⁵ Vgl. Scholz-Reiter et al. 2007, S. 181 und Böse et al. 2006, S. 341-342.

quency Identification (RFID), Positionierungssysteme oder Ansätze wie Ubiquitous oder Pervasive Computing führten zu einer Informations- und Kommunikationsdurchdringung bis auf die Güter- und Teileebene. Diese Entwicklung hat einen Wechsel zu dezentralen heterarchischen Strukturen gefördert und die logistischen Objekte zu autonomer Selbststeuerung und Automatisierung befähigt. Durch die Verlagerung der Entscheidungsfunktion auf die Objektebene sind neue Planungs- und Steuerungsmethoden in der Logistik und Produktion entstanden, die aufgrund der verfügbaren Informationsdichte eine Reaktion auf unerwartete Ereignisse erlauben und eine effizientere logistische Zielerreichung ermöglichen.⁵⁶ Eine weitere technologische Möglichkeit im Rahmen der genannten Planungs- und Steuerungsmethodik sowie der Optimierung logistischer Ziele ist der Einsatz von Multiagentensystemen (MAS), die mit Hilfe verschiedener Agenten in Form von Menschen oder Soft- und Hardwareeinrichtungen Problemstellungen und Probleme lösen.⁵⁷ In der vorliegenden Arbeit liegt der Themenschwerpunkt auf dem Einsatz von MAS in der rückführenden Logistik, der in den folgenden Kapiteln vertieft wird.⁵⁸

2.4 Reverse Logistics in der betrieblichen Praxis

Nach der Darstellung der vorwärtsgerichteten Logistik erfolgt im Weiteren ein Blick auf den Bereich der rückführenden Logistik. Zunächst werden der Begriff Reverse Logistics definiert und die Aufgaben sowie Entwicklungen thematisch beschrieben. Danach findet die Betrachtung der Sekundärrohstofflogistik statt. Die Entwicklung der Rohstoffsituation und die daraus resultierende Rohstoffproblematik sowie die einzelnen logistischen Teilelemente werden ergänzend erläutert. Die Charakterisierung der Herausforderungen für die Sekundärrohstofflogistik wird abschließend behandelt.

⁵⁶ Vgl. Singh et al. 2008, S. 349-350; Teuteberg 2007, S. 15; Scholz-Reiter et al. 2004, S. 357-358; Scholz-Reiter 2007, S. 181-182 und Windt/Hülsmann 2007, S. 1-3.

⁵⁷ Vgl. als Einführung zu Agententheorie und Multiagentensystemen Wooldridge/Jennings 1995; Ferber 2001 und Klügl 2001.

⁵⁸ Vgl. zu Reverse Logistics Abschnitt 2.4 und zu Multiagentensystemen Abschnitt 3.3.2.

2.4.1 Reverse Logistics

2.4.1.1 Definition des Begriffes

Reverse Logistics existiert bereits seit vielen Jahren in der wissenschaftlichen Literatur. Eine erste Beschreibung des Begriffes geht auf das Jahr 1982 in einer Ausarbeitung von *Lambert* und *Stock*⁵⁹ zurück. In den frühen 1990er Jahren startete das Council of Logistics Management⁶⁰ (CLM) eine Reihe von Studien und Publikationen zu dem Feld Reverse Logistics.⁶¹ Darin befand sich eine erste Definition des Begriffes:⁶²

„... the term often used to refer to the role of logistics in recycling, waste disposal, and management of hazardous materials; a broader perspective includes all relating to logistics activities carried out in source reduction, recycling, substitution, reuse of materials and disposal“.

Da diese Definition sehr allgemein gefasst ist, wird als Grundlage für diese Arbeit eine weitere Begriffsbestimmung hinzugezogen. *Wutz* hat in seiner Arbeit eine Reihe von Definitionen untersucht und eine Erklärung des Begriffs Reverse Logistics aus verschiedenen Ansätzen formuliert und in die Deutsche Sprache übertragen. Diese dient für die vorliegende Arbeit als Grundlage:⁶³

„Reverse Logistics umfasst den Prozess der effektiven und effizienten Planung, Implementierung und Steuerung von [...] Stoffströmen, deren Lagerung und die damit verknüpften Informationsflüsse, die entgegengesetzt der traditionellen Richtung einer Versorgungskette fließen, mit der Absicht, den Stoffkreislauf zu schließen und deren Wert zu erhalten, zu steigern oder eine [...] angemessene Entsorgung zu gewährleisten.“

⁵⁹ Vgl. hierzu *Lambert/Stock* 1982, S. 19 und 483-484.

⁶⁰ Zum 1. Januar 2005 hat das Council of Logistics Management (CLM) seinen Namen in Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) geändert. Die Namensänderung soll die ganzheitliche Sichtweise der modernen Logistik über die gesamte Lieferkette hinweg betonen. Vgl. *Chung* 2004, S. 18.

⁶¹ Vgl. *De Brito et al.* 2003, S. 1; *Wutz* 2008, S. 5 und *Specht/Braunisch* 2008, S. 876-877.

⁶² *Stock* 1992, S. A-3. Vgl. hierzu auch *Fleischmann* 2001, S. 5 oder *Wutz* 2008, S. 5.

⁶³ *Wutz* 2008, S. 5-8. Vgl. hierzu auch *Fleischmann* 2001 S. 6; *Rogers/Tibben-Lembke* 2001, S. 130 oder *De Brito/Dekker* 2004, S. 5.

Weitere Begrifflichkeiten, die vorwiegend in der englischsprachigen Literatur in Verbindung mit Reverse Logistics sowie der Produkt- und Materialrückführung genannt werden, sind: direct reuse (und resale); product recovery management (repair, refurbishing, remanufacturing, cannibalization und recycling); waste management oder disposal (incineration und landfilling).⁶⁴ Die Begriffe werden im Einzelnen nicht näher erläutert, da für die vorliegende Arbeit nur der Begriff Recycling von größerer Bedeutung ist und im Kontext der Materialrückführung am stärksten in Zusammenhang gebracht werden kann.⁶⁵

Der Fokus in dieser Arbeit und in den oben genannten Definitionen liegt auf dem Rückführungsgedanken von Materialien zur Schließung der Stoffkreisläufe sowie in der Versorgung der Unternehmen mit Sekundärrohstoffen für eine mögliche Substitution primärer Materialien. Eine spezifische Definition für die Sekundärrohstofflogistik wird in Abschnitt 2.4.2 vorgestellt.

2.4.1.2 Ziele, Aufgaben und Entwicklungen

Das Ziel der Reverse Logistics ist die Schließung der Stoffkreisläufe, die Schonung der natürlichen Ressourcen und damit die Sicherung der Verfügbarkeit von Rohstoffen. Des Weiteren fokussiert die Reverse Logistics auf eine ökologieorientierte, umweltgerechte sowie nachhaltige Produktion und Produktverantwortung.⁶⁶

Die Aufgaben der Reverse Logistics haben sich seit der Formulierung des Konzepts geändert. Zu Beginn standen das Abfallmanagement und die Abfallwirtschaft im Vordergrund. Schlagwörter wie städtische Abfallentsorgung, wieder verwendbare Verpackungen oder Altproduktrücknahme bestimmten die inhaltlichen Aufgaben der Reverse Logistics. Erst im weiteren Verlauf entwickelten sich Aspekte wie Abfallvermeidung und -reduzierung, Reparatur, Verwendung und Verwertung, Aufarbeitung und Aufbereitung oder Materialsubstitution.⁶⁷ Die einzelnen Tätigkeiten der Reverse Logistics lassen sich in drei

⁶⁴ Vgl. Thierry et al. 1995, S. 117-118; De Brito/Dekker 2004, S. 7 und Rogers/Tibben-Lembke 1999, S. 9-11.

⁶⁵ Vgl. zum Recycling Abschnitt 2.4.2.4.

⁶⁶ Vgl. Dyckhoff et al. 2004, S. 14; Fernandez 2004, S. 31 und Spengler et al. 1997, S. 308.

⁶⁷ Vgl. Kopicki et al. 1993, S. 2-12 und Fleischmann 2001, S. 25-30.

Kategorien gliedern. Das *Distributionsmanagement* ist für die Sammlung der Rückstände und für die Verteilung der gewonnenen Materialien zuständig. Die *Lager- und Warenverwaltung* übernimmt die Bestandsführung und -überwachung der Rückstände und Materialien. Die Produktion von Sekundärrohstoffen wird mit Hilfe von Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozessen durch die *Produktionsplanung und -steuerung* realisiert. Ein weiteres Aufgabenfeld ist die Entsorgung von nicht verwertbaren Materialien oder Gefahrgütern.⁶⁸

Die Entwicklungen in der Reverse Logistics sind geprägt durch eine Veränderung des Blickwinkels von der Beseitigungswirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft, in dem die effiziente Nutzung von Rohstoffen im Vordergrund steht. Der Betrachtungswechsel wird durch die Gesetzgebung und die rechtlichen Rahmenbedingungen, durch das Konsumentenverhalten, die soziale Verantwortung sowie durch ökonomische Interessen beeinflusst.⁶⁹ Der gesetzliche und rechtliche Rahmen im Bereich der Abfallbehandlung ist in Deutschland durch eine Vielzahl von Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Entscheidungen gekennzeichnet. Dieser Rahmen dient dazu, die erweiterte Produktverantwortung sowie die Rücknahme- und Entsorgungspflichten der Unternehmen zu verschärfen. Das am 7. Oktober 1996 in Kraft getretene Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG)⁷⁰ kann als Leitgesetz dieser Entwicklungen betrachtet werden. Das Gesetz dient der Förderung der Kreislaufwirtschaft und betont dabei die Schonung natürlicher Ressourcen sowie die Sicherstellung einer umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Der Grundsatz des Gesetzes ist in erster Linie die Vermeidung, in zweiter Linie die Verwertung und erst dann die Beseitigung von Abfällen. Ist eine schadstofffreie Verwertung der Abfälle nicht möglich,

⁶⁸ Vgl. Fleischmann et al. 1997, S. 4-15 und Martens 2007, S. 15-37. Vgl. hierzu auch Genchev 2009, S. 144-146; Rubio et al. 2008, S. 1102-1103; Dekker et al. 2004 S. 31-32; Krumwiede/Sheu 2002, S. 327-329 oder Rogers/Tibben-Lembke 2001, S. 138-140.

⁶⁹ Vgl. Martens 2007, S. 1 und Pokharel/Mutha 2009, S. 176.

⁷⁰ Das G wurde als Artikel 1 G 2129-27-1 v 27.9.1994 I 2705 vom Bundestag mit Zustimmung des Bundesrates beschlossen. Es ist gem. Art. 13 Satz 2 dieses G nach Maßgabe des Art. 13 Satz 1 am 6.10.1996 in Kraft getreten, soweit in einzelnen Vorschriften nichts anderes bestimmt war. Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 1994, S. 1.

entfällt der Vorrang der Verwertung und eine Beseitigung der Abfälle kann vorgenommen werden. Weitere Gesetze, Verordnungen oder Richtlinien in der deutschen Rechtssprechung sind beispielsweise das Elektro- und Elektronikgerätegesetz, die Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen, die Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnis, die Verordnung über Verwertungs- und Beseitigungsnachweise oder die Entsorgungsgemeinschaftenrichtlinie.⁷¹

Das Konsumentenverhalten sowie die soziale Verantwortung der Kunden und Unternehmen sind weitere Treiber in der Entwicklung der Reverse Logistics. Die Bereitschaft der Kunden für recycelte Produkte Geld zu zahlen, bewegt die Unternehmen zu Aktivitäten in der Reverse Logistics. Der Begriff Nachhaltigkeit zum Schutz natürlicher Ressourcen in der Gesellschaft und Industrie gewinnt an Bedeutung und unterstützt somit das Interesse, die Stoffkreisläufe zu schließen.⁷² Des Weiteren existieren ökonomische Anreizkriterien. Dahinter verbirgt sich der Gedanke, durch Reverse Logistics-Aktivitäten Profite zu erzielen, Kosten zu senken, die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu erhöhen und die Möglichkeit, gegenüber der Konkurrenz Wettbewerbsvorteile aufzubauen.⁷³

2.4.2 Sekundärrohstofflogistik als Teil der Reverse Logistics

2.4.2.1 Klärung des Begriffes

In der Literatur haben sich verschiedene Ausprägungen und Bezeichnungen für die Reverse Logistics herauskristallisiert. Beispielsweise sind die Entsorgungslogistik, die Retourenlogistik oder die Ressourcenlogistik zu nennen. Die Entsorgungslogistik betrachtet die optimale Gestaltung und Steuerung von Entsorgungsprozessen. Die Retourenlogistik beinhaltet den kontrollierten Rückfluss von Materialien, die von den Kunden zu den Lieferanten führen. Die Ressourcenlogistik hat Bezug zum Begriff Ressource, der im weiteren Sinne auch Hilfs- und Betriebsstoffe oder Produktionsanlagen bezeichnet. In dieser

⁷¹ Vgl. Martens 2007, S. 4-8; Wagner 2003, S. 15 und Queitsch 1995, S. 25-28.

⁷² Vgl. Beullens 2004, S. 284; Hülsmann/Grapp 2007, S. 90-94; Lubin/Esty 2010, S. 76-77 und Mieke 2010, S. 344-347.

⁷³ Vgl. Wutz 2008, S. 37-40; Genchev 2009, S. 139; Stock et al. 2006, S. 60-62 und De Brito/Dekker 2004, S. 10-11.

Arbeit wird jedoch der ganzheitliche Prozess des Rückflusses von Rückständen über die Aufarbeitung und Aufbereitung bis hin zum Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen betrachtet. Die drei genannten Termini sind für die beschriebene Problematik daher eher ungeeignet. Im weiteren Verlauf wird der Begriff Sekundärrohstofflogistik adressiert, der als Teilgebiet in die Reverse Logistics eingeordnet werden kann.⁷⁴

Sekundärrohstoffe und die mit dem Wiedereinsatz verbundenen Material- und Informationsflüsse sind aus der Papier-, Glas- oder Metallindustrie bereits bekannt.⁷⁵ In der Zukunft ist davon auszugehen, dass die Menge an Sekundärrohstoffen aufgrund der zunehmenden Primärrohstoffverknappung steigen wird. Zudem ist es möglich, dass sich für weitere Rohstoffarten Ersatzbedarf ergeben wird. Es ist damit zu rechnen, dass Unternehmen neue Bezugsquellen für ihre Materialversorgung suchen und diese entsprechend steuern müssen. Daher ist die Frage zu stellen, inwieweit neue Transport-, Lager- und Umschlagprozesse zu gestalten sind. Der Sekundärrohstofflogistik soll dabei künftig die Aufgabe zukommen, logistische Systeme für die neuen Netzwerke zwischen den beteiligten Akteuren zu entwickeln und zu optimieren.⁷⁶

Um im weiteren Verlauf der Arbeit den Fokus auf die Sekundärrohstofflogistik zu legen, ist es notwendig, dieses Subsystem der Reverse Logistics definitorisch einzugrenzen. Die Definition lehnt sich eng an die Flussrichtung der Material- und Informationsströme an. Im Gegensatz zur vorwärtsgerichteten Logistik führt die Umkehrung der Materialströme dazu, dass die Sekundärrohstofflogistik die für die Produktion von Sekundärrohstoffen notwendigen Material- und Informationsflüsse von der Verbrauchsquelle von Rückständen bis zur Entstehungssenne von Sekundärrohstoffen plant, koordiniert, durchführt und kontrolliert.⁷⁷

⁷⁴ Vgl. Steven et al. 2003a, S. 643-644; Steven et al. 2003b, S. 779; Arnold et al. 2008, S. 5; Clausen/Nikel 2007, S. 24; Gerschwiler et al. 2008, S. 83 und Specht/Braunsich 2008, S. 876-877.

⁷⁵ Vgl. Bardt 2006, S. 5-11.

⁷⁶ Vgl. Clausen/Nikel 2007, S. 24-26 und Specht/Braunisch 2008, S. 875-876.

⁷⁷ Vgl. Specht/Braunisch 2008, S. 876; Schulte 2009, S. 1; Gobsch 2007, S. 41 und Clausen/Nikel 2007, S. 26-27.

2.4.2.2 Entwicklung der Rohstoffsituation und Rohstoffproblematik

Das hohe Wirtschaftswachstum in den BRIC-Nationen sowie in den meisten nordamerikanischen und europäischen Ländern führt zu einer erhöhten Rohstoffnachfrage. Daraus resultieren einerseits eine Rohstoffverknappung und andererseits eine Preissteigerung.⁷⁸ Das verringerte Angebot an Rohstoffen basiert auf der mangelnden Reaktionsfähigkeit seitens der Förderer. Eine Erhöhung der Produktionskapazitäten durch die Erschließung neuer Rohstoffvorkommen ist jedoch aufgrund des erhöhten Aufwandes und des notwendigen Aufbaus neuer Fördertechniken nur langfristig möglich. Zudem sind einzelne Rohstoffvorräte lediglich begrenzt verfügbar und bestimmte Rohstoffvorkommen schwer oder begrenzt erschließbar.⁷⁹ Die Rohstoffnachfrage entspricht jedoch nicht immer nur dem produktionsseitigen Bedarf, sondern wird zusätzlich durch spekulative Käufe stimuliert. Außerdem war in der Vergangenheit eine Marktabstottung einzelner Länder im Rohstoffhandel festzustellen. Dadurch wird der Zugang zu Rohstoffen verhindert, was eine weitere Preissteigerung der frei zugänglichen Rohstoffe nach sich zieht.⁸⁰

Materialien die über eine steigende Preistendenz verfügen sind beispielsweise Aluminium, Eisenerz, Kupfer, Zinn, Zink oder Nickel. Einen allgemeinen Überblick über die Preisentwicklungen bietet der Rohstoffpreisindex.⁸¹ Abbildung 4 stellt einen Überblick für die Indizes der wichtigen Rohstoffe des „Research Centre International Economics“⁸² von 2009 bis 2012 mit dem 100%-Basispunkt von 2010 dar.⁸³

⁷⁸ Vgl. O'Neill 2001, S. 3; Buchholz 2008, S. 11; Tiess 2009, S. 81 und Thieß 2011, S. 250-251.

⁷⁹ Vgl. Clausen/Nikel 2007, S. 24 und Hennicke et al. 2009, S. 15-16.

⁸⁰ Vgl. Matthies, 2007, S. 264-265; Biebeler et al. 2008, S. 16-18 und Ameling 2007, S. 12.

⁸¹ Der Rohstoffpreisindex ist ein Produkt der HWWI-Consult GmbH und ein wichtiger Indikator für die Preisentwicklungen auf den Weltrohstoffmärkten. Vgl. hierzu <http://hwwi-rohindex.de/index.php?id=7947&PHPSESSID=08c9f6b474b4035f2f8d6df8a0b62841>.

⁸² Vgl. hierzu <http://www.fiw.ac.at/index.php?id=1&L=0>.

⁸³ Vgl. Biebeler et al. 2008, S. 16-17; Hennicke et al. 2009, S. 10-12 und HWWI 2008, S.1-4.

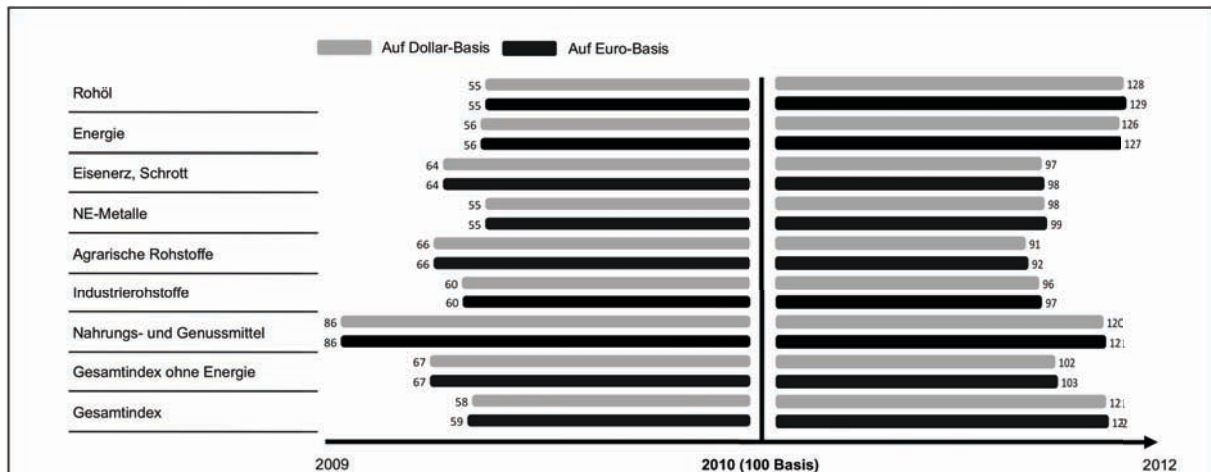


Abbildung 4: Entwicklung der Rohstoffpreisindizes von 2009 bis 2012 (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an http://www.fiw.ac.at/fileadmin/Documents/Wirtschaftslage/Daten/IR_Rohstoffpreisindizes_datens.xlsx)

Die deutlich erkennbare kurzfristige Entwicklung der Indizes gibt einen sehr dynamischen Eindruck und einen Hinweis für ein reaktives Verhalten an rohstoffbe- und -verarbeitende Unternehmen für die Sicherung ihrer Produktionsprozesse.

Einen weiteren Überblick über die langfristige Preisentwicklung von Rohstoffen bietet der Continuous Commodity Index (CCI). Der CCI zeigt im Durchschnitt die wichtigsten börsengehandelten Rohstoffpreise. Er stellt einen beachteten Indikator bei Investoren und Einkäufern für die Entwicklung auf dem Rohstoffmarkt dar.⁸⁴ In Abbildung 5 ist der Continuous Commodity Index bis 2012 dargestellt.

⁸⁴ Vgl. hierzu <http://www.gofutures.com/pdfs/Continuous-Commodity-Index.pdf>.

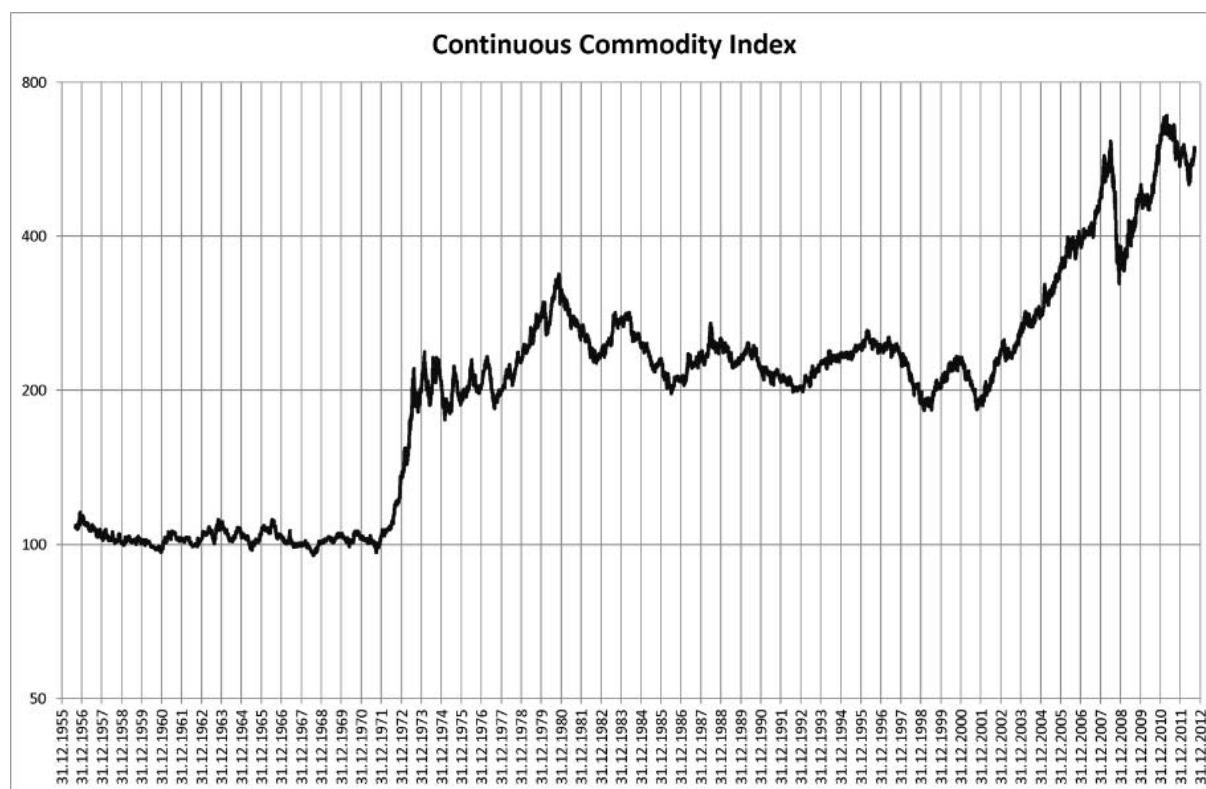


Abbildung 5: Continuous Commodity Index bis 2012 (Quelle: <http://www.markt-daten.de/charts/rohstoffe/rohstoffindices/crb.htm>)

Der mit dem Wirtschaftswachstum verbundene stetig steigende Rohstoffverbrauch führt dazu, dass die Grenzen der Verfügbarkeit einzelner Rohstoffe sichtbar werden. Dabei ist zwischen Reserven und Ressourcen zu unterscheiden. Reserven bezeichnen die Mengen an Rohstoffen, die zur gegenwärtigen Situation wirtschaftlich abgebaut werden können. Ressourcen beinhalten zusätzlich die Mengen, deren Abbau zum jetzigen Zeitpunkt unwirtschaftlich oder technisch nicht realisierbar ist. Rohstoffe die hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit als kritisch eingestuft werden sind beispielsweise Erdöl, Erdgas, Zinn, Silber, Gold, Wolfram, Indium oder Germanium.⁸⁵ Abbildung 6 gibt einen Überblick zu den Reichweiten der Reserven in Jahren.

⁸⁵ Vgl. Seliger 2007, S. 180; Gerschwiler et al. 2008, S. 86-87; Hennicke et al. 2009, S. 14-16 und BGR 2008, S. 17-23.

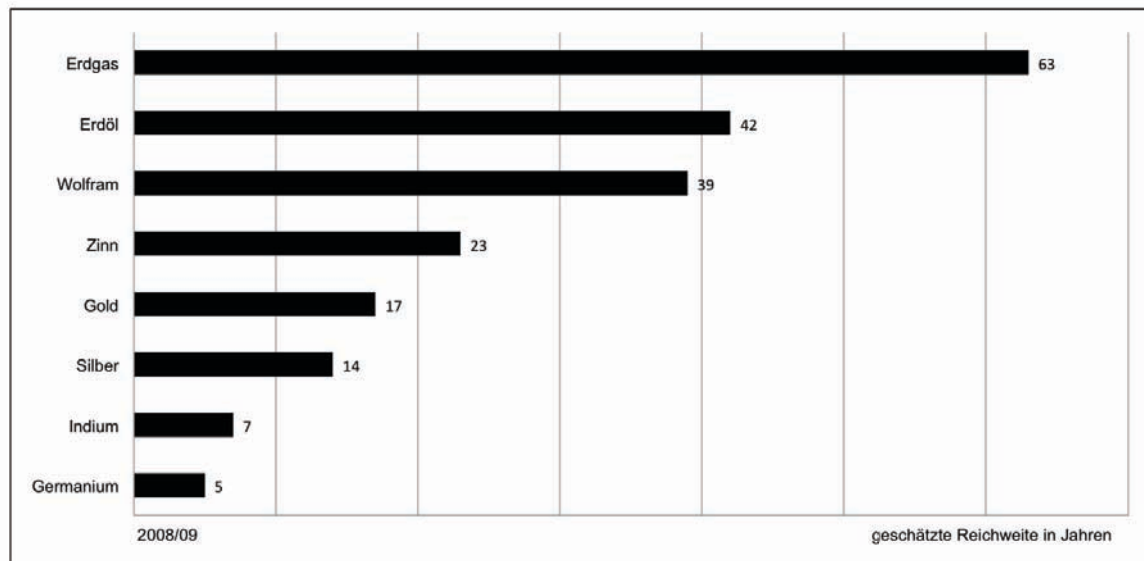


Abbildung 6: Reichweite von Rohstoffen (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hennicke et al. 2009, S. 16; BGR 2005, S. 17-21 und Woidasky et al. 2009, S. 1716)

Die Rohstoff verarbeitenden Unternehmen sind insbesondere mit der Problematik der zunehmenden Verknappung der Rohstoffe konfrontiert. Um auf diesen Trend zu reagieren, liegen Möglichkeiten in der Suche nach alternativen Bezugsquellen, in einem wirkungsvolleren Energie- und Materialeinsatz sowie in dem in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Aspekt der Verwendung hochwertiger Sekundärrohstoffe.⁸⁶

2.4.2.3 Substitutionspotentiale durch Sekundärrohstoffe

Die Substitution primärer Rohstoffe durch sekundäre Materialien hat sowohl aus einzel- als auch aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive eine große Bedeutung. Sie kann eine entscheidende Rolle spielen, wenn es um die Verknappung, die Verteuerung oder das Versiegen der natürlichen Rohstoffvorkommen geht.

Die Hauptmotive, Material zu substituieren, sind für die Rohstoff verarbeitenden Unternehmen einerseits die Sicherstellung der Rohstoffversorgung für die Produktion und andererseits die Reaktion auf die gestiegenen Materialpreise. Eine frühzeitige Materials substitution dient als Sicherheitsfaktor bei einer Un-

⁸⁶ Vgl. Bardt 2006, S. 3-5.

terbrechung der Rohstoffversorgung. Sekundärrohstoffe können auch parallel zu den Primärrohstoffen eingesetzt werden, um zum Beispiel Bedarfsspitzen abzufangen. Des Weiteren können bereits frühzeitig negative Auswirkungen bei einer später notwendigen und unvorbereiteten Materialsubstitution minimiert werden. Die Reaktion auf die gestiegenen Materialpreise kann für die Unternehmen den ökonomischen Vorteil bieten, von einer Kostenersparnis in ihren Bilanzen zu profitieren und zudem die Abhängigkeit gegenüber steigenden Rohstoffpreisen zu verringern. Durch eine frühzeitige Reaktion auf die Rohstoffverknappung können zudem in der sogenannten Vorreiter-Rolle Wettbewerbsvorteile aufgebaut werden.⁸⁷

Für das Wirtschaftssystem und die beteiligten Individuen sind die Motivatoren zur Materialsubstitution der technische Wandel und staatliche Regulierungen, wie sie beispielsweise im § 4 des KrW-/AbfG formuliert sind. Sie schreiben die Substitution von Primärrohstoffen durch sekundäre Rohstoffe vor. Diese Vorgaben haben spürbare Auswirkungen auf die Volkswirtschaft und das Bruttoinlandsprodukt (BIP). So entstand in Deutschland zum Beispiel durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen im Jahr 2005 ein Wertschöpfungseffekt in Höhe von 3,7 Milliarden Euro. Dieser hat sich positiv auf das BIP und auf den Arbeitsmarkt ausgewirkt.⁸⁸

Neben der Materialsubstitution gibt es weitere Substitutionsarten wie beispielsweise die technologische Substitution, die funktionale Substitution, die Qualitätssubstitution oder die nichtmaterielle Substitution, die ebenfalls zu Reduktionen im Einsatz von Primärrohstoffen führen können.⁸⁹ Des Weiteren besteht die Möglichkeit, einen knappen durch einen weitreichenden Primärrohstoff auszutauschen. Diese Art der Substitution wird hier nicht betrachtet, da bestimmte Stoffe wie zum Beispiel Chrom, Molybdän, Phosphor oder Kalium nicht einfach durch andere Stoffe ersetzt werden können. Für diese Stoffe ist es entscheidend, rechtzeitig Rückgewinnungsverfahren für Sekundärrohstoffe zu entwickeln. Ein weiterer Punkt, der berücksichtigt werden muss, ist der

⁸⁷ Vgl. Ziemann et al. 2010, S. 85; Bardt 2006, S. 1-12 und Biebeler et al. 2008, S. 15-19.

⁸⁸ Vgl. Ziemann et al. 2010, S. 85; § 4 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 1994, S. 4-5; Bardt 2006, S. 12-13 und Biebeler et al. 2008, S. 19.

⁸⁹ Vgl. Ziemann et al. 2010, S. 86.

technologische Fortschritt, der in der Preisentwicklung von Primär- und Sekundärrohstoffen einen unsicheren Faktor darstellt, so dass das Substitutionsverhalten nicht präzise vorhergesagt werden kann. Tendenziell ist aber mit höheren Aufwendungen für Primärrohstoffe zu rechnen, was der Entwicklung der Erlössituation für Sekundärrohstoffe entgegenkommt.⁹⁰

2.4.2.4 Strategien der Materialrückgewinnung

Recycling

Recycling ist ein Prozess des Aufarbeitens und Aufbereitens von Rückständen bei dem Sekundärrohstoffe entstehen. Die Durchführung von Recyclingmaßnahmen erhöht die Ressourceneffizienz und reduziert das Beschaffungsvolumen von Primärrohstoffen für die Produktion. Die folgenden vier strategischen Richtungen sind beim Recycling zu erkennen:⁹¹

- Wiederverwendung – wiederholte Nutzung des aufgearbeiteten Wertstoffes im gleichen Einsatzbereich, z. B. Pfandflaschen, Mehrwegverpackungen.
- Weiterverwendung – wiederholte Nutzung des aufgearbeiteten Wertstoffs in einem neuen Einsatzbereich, z. B. Autoreifen für Sicherheitsmaßnahmen.
- Wiederverwertung – Rückführung des aufbereiteten Wertstoffs in den gleichen Produktionsprozess, z. B. Altglas-, Altpapierrecycling.
- Weiterverwertung – Rückführung des aufbereiteten Wertstoffs in einen neuen Produktionsprozess, z. B. Parkbänke aus Kunststoffverpackungen.

Urban Mining

Sekundärrohstoffe können auch durch „Urban Mining“ gewonnen werden. Der Begriff Urban Mining beschreibt „[...] die Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Zivilisationsabfällen und Produktionsreststoffen [...]“⁹² Genauer gesagt umfasst Urban Mining die Extraktion von Materialien aus allen anthropogen ge-

⁹⁰ Vgl. Hennicke et al. 2009, S. 19; Tiess 2009, S. 84 und Mocker et al. 2009, S. 493-494.

⁹¹ Vgl. Werner 2008, S. 177 und Specht/Braunisch 2008, S. 876.

⁹² Clausen/Nikel 2007, S. 25.

schaffen Lagerstätten und die Rückführung des sogenannten Deponiegutes in den Stoffkreislauf.⁹³

Das Konzept des Urban Mining ist nicht neu. Da sich aber in dem Konzept ein großes Wertstoffpotential befindet, gewinnt es in der Forschung und Entwicklung wieder an Bedeutung. Die urbanen Quellen aus denen Wertstoffe herausgezogen werden können sind beispielsweise Hausmülldeponien, Produktionsrückstände, Klärschlämme oder Abfälle aus der Bauwirtschaft. Der Bergbau und die Verhüttung sowie der Gebäude- und Infrastrukturbestand bieten ebenfalls verwertbares urbanes Material. Das Potential an Wertstoffmengen in deutschen Deponiestandorten wird beispielsweise auf etwa 26 Millionen Tonnen Eisenschrott, 850.000 Tonnen Kupferschrott, 500.000 Tonnen Aluminiumschrott oder etwa 650.000 Tonnen Phosphat geschätzt.⁹⁴

In Deutschland wird ein Großteil des Abfallaufkommens stofflich genutzt. Die Verwertungsquote liegt bei rund 70 Prozent. Die Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Rückständen ist jedoch noch nicht in allen Fällen wirtschaftlich sinnvoll, da die Kosten für die Gewinnung im Verhältnis zu den Marktpreisen für Primärrohstoffe teilweise noch nicht konkurrenzfähig sind. Abfälle, die nicht stofflich genutzt und wieder aufbereitet werden können, werden auch als Sekundärbrennstoffe zur Energieerzeugung eingesetzt und stellen somit ein Substitut für die fossilen Brennstoffe Erdöl und Kohle dar.⁹⁵

2.4.2.5 Logistische Objekte

Sekundärrohstoffe und Rückstände stellen die logistischen Objekte der rückführenden Logistik dar. Sekundärrohstoffe werden aus Rückständen mit Hilfe geeigneter Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse gewonnen. Rückstände entstehen in vielfältiger Natur und Ausprägung in der Produktions-, Distributions- und Konsumtionsphase.⁹⁶

⁹³ Vgl. Fricke 2009, S. 489.

⁹⁴ Vgl. Woidasky et al. 2009, S. 1716-1717; Mocker et al. 2009, S. 492-495 und Rettenberger 2009, S. 107-108.

⁹⁵ Vgl. Clausen/Nikel 2007, S. 25; Mocker et al. 2009, S. 495 und Specht/Braunisch 2008, S. 876.

⁹⁶ Vgl. Martens 2007, S. 34-35; Sterr 2003, S. 107 und Balsliemke 2004, S. 33.

In jedem Herstellungsprozess fallen Produktionsrückstände in stofflicher oder energetischer Form an. Stoffliche Produktionsrückstände sind beispielsweise Materialrückstände in Form von Verschnitten oder Spänen, nicht mehr verwendbare Ausschüsse oder ausgetauschte Betriebs- und Einsatzstoffe, die für einen produktiven Gebrauch nicht mehr geeignet sind.

Im Bereich der Distribution entstehen stoffliche Distributionsrückstände wie beispielsweise Einweg- oder Mehrwegverpackungen, die nach ihrer Funktionserfüllung nicht mehr verwendet werden. Transportbehälter wie Paletten oder Gitterboxen sind nach Beendigung ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer als Rückstand zu betrachten. Falsches oder fehlerhaft geliefertes sowie nicht benötigtes Material bei Überlieferungen stellen ebenfalls Rückstände im Distributionsprozess dar.

Die in der Konsumphase entstehenden stofflichen Rückstände sind Ver- und Gebrauchsgüter, die nach ihrer Anwendung verbraucht oder nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer nicht mehr funktionsfähig sind und dadurch keinen Nutzen generieren.⁹⁷

2.4.2.6 Logistische Aktivitäten

Die Sekundärrohstofflogistik lässt sich in die Subsysteme Redistributionslogistik, Aufarbeitungs- und Aufbereitungslogistik sowie in die Wiedereinsatzlogistik gliedern. In den jeweiligen Subsystemen sind für die logistische Leistungserstellung verschiedene Aktivitäten durchzuführen.

Die Redistributionslogistik ist das Bindeglied zwischen dem Entstehungsort der Rückstände und der anschließenden Aufarbeitungs- und Aufbereitungslogistik. Ein notwendiger Prozess im Rahmen dieses Aufgabenbereichs ist die Sammlung und der Transport der Rückstände. Die erfassten Rückstandsmengen sind anschließend in Rückstandsfraktionen zu sortieren. Für die zeitliche Überbrückung zwischen Anfall und Verwendung sowie zum Ausgleich der mengenmäßigen Schwankungen von Angebot und Nachfrage von Rückständen ist eine Lagerhaltung erforderlich. Des Weiteren sind Transportprozesse

⁹⁷ Vgl. Wutz 2008, S. 15-19; Dutz 1996, S. 18-23 und De Brito/Dekker 2004, S. 12-15.

zur räumlichen Überbrückung für die Rückstände durchzuführen. In bestimmten Fällen können auch Verdichtungsprozesse zur besseren Auslastung der Transportkapazitäten zum Einsatz kommen.⁹⁸

Die Aufarbeitungs- und Aufbereitungslogistik dient der Planung, Steuerung und Durchführung der Prozesse für die Verwendung und Verwertung von Rückständen und unterstützt im Speziellen das Recycling. Bei komplexen Rückständen oder Altprodukten kann zu Beginn eine Demontage in die Einzelteile oder ein Ausbau von Einzelteilen notwendig sein. Dabei gehen mindestens zwei neue Elemente hervor. Die Materialflüsse beim Demontageprozess haben ein Input-Output-Verhältnis von (1:n). Für die Wertermittlung und Überprüfung des qualitativen Zustands der Rückstände sind Test- oder Prüfprozesse durchzuführen. Damit verschmutzte oder korrodierte Rückstände überhaupt getestet oder geprüft und einer weiteren Verwendung zugeführt werden können, sind Reinigungsarbeiten zu verrichten. Wird der Rückfluss von Rückständen auf Produktebene betrachtet, so sind bei Nutzungsschäden, insbesondere an Bauteilen und Produkten, Nacharbeiten notwendig. Diese zielen darauf ab, sowohl funktionstechnische als auch optische Mängel für eine Wieder- oder Weiterverwendung zu beheben. Remontageprozesse kommen dann zum Einsatz, wenn alte und neue Bauteile zu neuen Produkten oder Modulen zusammengefügt werden sollen. Im Bereich der Aufbereitung sind Separierungs- und Abfallbehandlungsprozesse anzutreffen. Die Separierung ist ähnlich wie die Demontage ein Trennungsprozess. Ein Unterschied liegt darin, dass die Trennung der einzelnen Elemente in Rückstandsfraktionen erfolgt, da eine genaue Trennung aufgrund des zum Teil zerstörenden Charakters nicht möglich ist. In Abfallbehandlungsprozessen werden schadstoffbelastete Rückstände einer Schadstoffentfrachtung unterzogen. Dabei können chemische, physikalische oder biologische Verfahren zum Einsatz kommen. In Abhängigkeit vom jeweiligen Zustand müssen die Rückstände nicht alle genannten Prozesse der Rückführungs-, Aufarbeitungs- und Aufbereitungslogistik durchlaufen, manche dagegen zum Teil mehrmals.⁹⁹

⁹⁸ Vgl. Wildemann 1997, S. 48-49; Ivisic 2002, S. 180-182 und Wutz 2008, S. 26-27.

⁹⁹ Vgl. Spengler 1994, S. 14-17; Steinhilper 1998, S. 40-57 und Wutz 2008, S. 29-33.

Im Bereich der Wiedereinsatzlogistik sind Prozesse des Material- und Informationsflusses zu den Wiedereinsatzbetrieben durchzuführen. Die gewonnenen Sekundärrohstoffe werden dabei einem neuerlichen Gebrauch zur Verfügung gestellt.¹⁰⁰

2.4.2.7 Logistische Akteure

Die beteiligten Akteure in den Netzwerken der Sekundärrohstofflogistik sind ein wesentlicher Bestandteil des Systems und erfüllen spezifische Funktionen. An den logistischen Teilprozessen der Rückführung, der Aufarbeitung und Aufbereitung sowie des Wiedereinsatzes sind mindestens ein, meist mehrere Akteure beteiligt. In den folgenden Ausführungen werden Lieferanten, Dienstleister und Händler, Original Equipment Manufacturer (OEM) oder sogenannte Erstausrüster und Konsumenten als beteiligte Akteure in der Sekundärrohstofflogistik angenommen.¹⁰¹

Die Lieferanten können dabei als Quelle oder als Senke agieren. Als Quelle sind sie Produzenten von primären Grundstoffen und Bauteilen und stellen diese für die Fertigung und Montage der OEM bereit. Als Senke kaufen sie Sekundärrohstoffe, -bauteile oder -produkte auf oder nehmen sie zurück und verwenden sie wieder. Die Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse werden in der Regel von Dienstleistern übernommen. Häufig führen diese noch weitere logistische Tätigkeiten der Rückführung oder des Wiedereinsatzes wie beispielsweise Sammeln, Sortieren oder Transportieren aus. Die Händler oder auch Importeure und Makler, die als Bindeglied zwischen OEM und Konsumenten auftreten, nehmen neben Vertriebs- auch Rücknahmeaufgaben wahr. Sie agieren dabei als Empfänger von Altprodukten, Garantierückläufen oder umgetauschten Gütern. Makler übernehmen häufig die Vermittlerposition bei Angebot und Nachfrage nach Rückständen. Die OEM müssen ihre hergestellten und vertriebenen Produkte im Rahmen der erweiterten Produktverantwortung zurücknehmen und einer Verwertung oder Verwendung zuführen. Des Weiteren müssen sie bereits in der Produktgestaltungsphase auf eine demontage- und recyclinggerechte Konstruktion achten.

¹⁰⁰ Vgl. Wildemann 1997, S. 48-49; Bönker 1999, S. 123-124; Martens 2007, S. 35-37 und Specht/Braunisch 2010a, S. 27.

¹⁰¹ Vgl. Wutz 2008, S. 33-34; De Brito/Dekker 2004, S. 19-20 und Fleischmann 2001, S. 19.

Die Konsumenten nehmen in der Sekundärrohstofflogistik eine zentrale Rolle ein. Sie bestimmen durch ihr Konsumverhalten die Art der Altprodukte, durch ihr Gebrauchsverhalten den Zustand und durch ihr Rückgabeverhalten die Menge sowie den Zeitpunkt der Rückgabe. Die Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse sind dadurch stark beeinflusst.¹⁰² Abbildung 7 fasst die Ausführungen zur sekundären Rohstofflogistik zusammen.

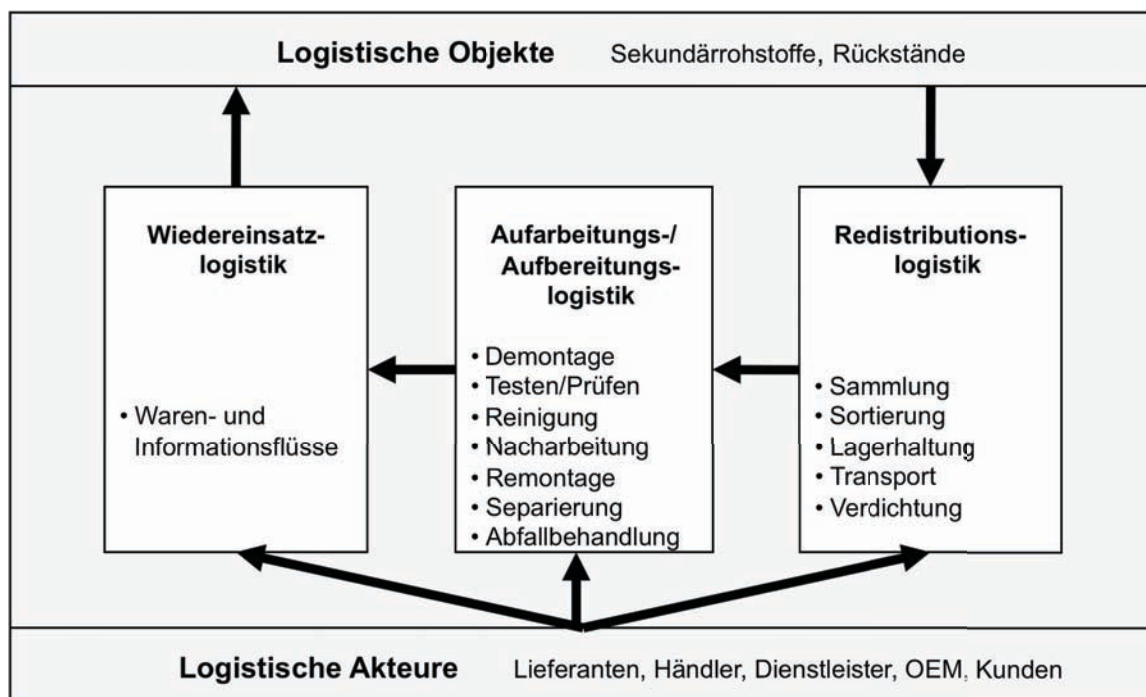


Abbildung 7: Elemente der Sekundärrohstofflogistik (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wildemann 1997, S. 48)

2.4.2.8 Herausforderungen in der Sekundärrohstofflogistik und Sekundärrohstoffproduktion

Konsumenten nehmen in der Sekundärrohstofflogistik eine entscheidende Rolle ein. Durch ihr Gebrauchs- und Rückgabeverhalten bestimmen sie den zeitlichen Anfall, die Art und Menge sowie die Qualität der Rückstände. Das Verhalten der Konsumenten ist jedoch nicht genau prognostizierbar. Der zeitliche und mengenmäßige Anfall von Rückständen kann daher nicht exakt bestimmt werden. Eine starke Unsicherheit besteht in der Qualität der zurückgeführten Materialien. Einige Konsumenten geben beispielsweise ihre Produkte zurück,

¹⁰² Vgl. Wutz 2008, S. 34-36; De Brito 2003, S. 65-67; Kopicki et al. 1993, S. 104-111 und Specht/Braunisch 2010a, S. 27.

wenn die Nutzungsdauer überschritten und das Gebrauchsende erreicht ist. Andere Konsumenten geben dagegen ihre Produkte zurück, wenn sie sich für einen Neukauf beziehungsweise für ein Produkt-Upgrade entscheiden. Der qualitative Zustand der zurückgegebenen Produkte kann sich aufgrund des unterschiedlichen Nutzungsgrades daher stark unterscheiden und wirkt sich auf die nachgelagerten Prozesse aus.¹⁰³ In verschiedenen Studien, die beispielsweise mit IBM, Xerox, Schering oder Kodak durchgeführt wurden, konnten diese Unsicherheiten nachgewiesen werden.¹⁰⁴ Die Herausforderungen bei der Sammlung und Rückführung von Rückständen¹⁰⁵ bestehen in der Bestandsdisposition bei stochastischen Stoffströmen¹⁰⁶ und in der Prognose des Rücklaufs von Rückständen¹⁰⁷.

Die Rückstände werden anschließend bedarfsgerecht in die Aufarbeitungs- und Aufbereitungs- beziehungsweise Recyclingunternehmen transportiert. Für eine genaue Produktions- und -programmplanung sind verbindliche Daten zu den Produktionsfaktoren, Fertigungskapazitäten oder Einsatzstoffen erforderlich. Für die Planung der Produktion von Sekundärrohstoffen sind verlässliche Daten zu zukünftigen Rückstandsaufkommen für die Optimierung der Leistungsprogramme von Bedeutung. Da in Rückstandsflüssen das Push-Prinzip dominiert, können die Leistungsprogramme nicht langfristig geplant, sondern müssen kurzfristig reaktiv auf das tatsächliche Rückstandsaufkommen angepasst werden. Durch die Antizipation der Aufkommen in den zukünftigen Perioden können die Leistungsprogramme frühzeitig geplant werden.¹⁰⁸ Die Herausforderung bei der Produktion von Sekundärrohstoffen besteht in der Reaktion auf die unsicheren und stochastischen Stoffströme zum Beispiel mit Hilfe dynamischer Dispositionstechniken.¹⁰⁹

¹⁰³ Vgl. Toktay 2003, S. 203; Fleischmann 2001, S. 15; Pehlken 2010, S. 484 und Specht/Braunisch 2010b, S. 860.

¹⁰⁴ Vgl. Fleischmann et al. 2004, S. 69-71; Inderfurth et al. 2004, S. 259-260 und Toktay et al. 2004, S. 48-49.

¹⁰⁵ Vgl. für eine ausführliche Beschreibung zur Sammlung und Rückführung von Rückständen zum Beispiel Ivisic 2002, S. 182-190.

¹⁰⁶ Vgl. zu Stochastischen Stoffströmen und Bestandsdisposition Abschnitt 3.2.3.1.

¹⁰⁷ Vgl. zu Vorhersagetechniken von Materialströmen Abschnitt 3.2.3.2.

¹⁰⁸ Vgl. Adam 1998, S. 129-131; Martens 2007, S. 117; Inderfurth et al. 2004, S. 249 und Specht/Möhrle 2002, S. 244.

¹⁰⁹ Vgl. hierzu Kapitel 3 und 4.

Da der Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen von den Vorgängerprozessen abhängig ist, stellt die bedarfs- und kundengerechte Bereitstellung von Sekundärrohstoffen ebenfalls eine Herausforderung dar. So ist beispielsweise die pünktliche Belieferung der Kunden mit Sekundärrohstoffen sicherzustellen oder für eine effiziente Fahrzeug- und Transportplanung¹¹⁰ mittels geeigneter Instrumentarien zu sorgen.

Die Reaktion auf diese Herausforderungen und die Lösung der Schwierigkeiten sind Bestandteil dieser wissenschaftlichen Untersuchung, die sich in den folgenden Kapiteln fortsetzen. Der Fokus der Betrachtung liegt auf den Herausforderungen in der Redistributions- sowie der Aufarbeitungs- und Aufbereitungslogistik.

2.5 Supply Chain Management

Der Begriff des Supply Chain Management (SCM) hat seinen Ursprung in der angloamerikanischen Literatur der 1980er Jahre. Im europäischen Raum und insbesondere in Deutschland hielt das SCM Mitte der 1990er Jahre Einzug. Vor dem Hintergrund inhomogener Kundenbedürfnisse, Kostendruck oder punktgenauer Lieferfähigkeit im globalen Wettbewerb hat das Management von logistischen Ketten an Bedeutung gewonnen. Die Erkenntnis, dass die reine Optimierung unternehmensinterner Abläufe gegenüber den veränderten Marktanforderungen nicht mehr ausreicht, machte die Verlagerung auf eine unternehmensübergreifende Prozessgestaltung notwendig. Die Integration von Zulieferern, Produzenten, Händlern oder Logistik-Dienstleistern zu einem Wertschöpfungsnetzwerk soll ein effizientes, bedarfs- und kundenorientiertes Handeln ermöglichen sowie die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Supply Chain nachhaltig stärken und weiterentwickeln. In der Literatur findet sich kei-

¹¹⁰ Vgl. zu Fahrzeug- und Transportplanung beispielsweise Domschke 2007 und Domschke 1997.

ne einheitliche Klärung und Systematisierung des Begriffs.¹¹¹ Arndt definiert SCM exemplarisch wie folgt:¹¹²

„Supply Chain Management ist die unternehmensübergreifende Koordination und Optimierung der Material-, Informations- und Wertflüsse über den gesamten Wertschöpfungsprozess von der Rohstoffgewinnung über die einzelnen Veredelungsstufen bis hin zum Endkunden mit dem Ziel, den Gesamtprozess unter Berücksichtigung der Kundenbedürfnisse sowohl zeit- als auch kosten-optimal zu gestalten.“

2.5.1 Aufbau, Motivation und Integration einer logistischen Wertschöpfungskette

Der Aufbau der logistischen Wertschöpfungskette reicht von den Lieferanten und Sublieferanten über die innerbetrieblichen Prozesse der Beschaffung, Produktion und Distribution bis hin zu den Kunden und den Kunden der Kunden. Entgegen einer separaten oder isolierten Optimierung innerhalb der einzelnen Instanzen wird im Rahmen des Supply Chain Managements die gesamte Wertschöpfungskette als geschlossenes System betrachtet, gestaltet und optimiert.¹¹³

Die Motivation für das SCM ist die wachsende Marktkomplexität bei gleichzeitig zunehmender Marktdynamik und den sich dadurch stetig verändernden Anforderungen wie beispielweise bei den Lieferzeiten, Vorlaufzeiten oder kürzeren Produktlebenszyklen. Die Unternehmen geraten unter diesen Bedingungen in eine Zeitschere zwischen notwendiger Anpassungszeit und verfügbarer Reaktionszeit an veränderte Rahmenbedingungen. Des Weiteren werden aufgrund der fehlenden Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette Prognose- und Bedarfsveränderungen zu spät erkannt. Ein in der Literatur oft zitiertes Beispiel und ein wesentlicher Anstoß für das SCM ist der sogenannte Bullwhip-Effekt,¹¹⁴ der das Problem von Nachfrageschwankungen und das Aufschaukeln von Lagerbeständen beschreibt. Der Grund für diesen Effekt ist

¹¹¹ Vgl. Werner 2008, S. 3-6; Beckmann 2004, S. 1 und Sennheiser/Schnetzler 2008, S. 2-5.

¹¹² Arndt 2010, S. 47.

¹¹³ Vgl. Beckmann 2004, S. 4-5.

¹¹⁴ Vgl. hierzu zum Beispiel Fandel et al. 2009, S. 6-8 oder Kuhn/Hellingrath 2002, S. 17-20.

die fehlende Bedarfsprognose und -planung zwischen den Unternehmen einer Wertschöpfungskette. Die daraus resultierende Unsicherheit in der Lieferfähigkeit der Unternehmen führt zu erhöhten Produktionsmengen und dem Aufbau von Beständen. Eine Zusammenarbeit von Herstellern, Lieferanten und Kunden kann diesem Effekt entgegenwirken, da in einem Supply Chain Verbund eine zeitnahe und synchrone Bedarfsplanung zwischen den beteiligten Akteuren erfolgt. Dadurch können die entsprechend erforderlichen Liefer- und Produktionsmengen eingetaktet und ein Bestandsaufbau vermieden werden. Weitere Motive für das SCM sind beispielsweise erwartete Kosten- und Wettbewerbsvorteile.¹¹⁵

Für eine Integration der logistischen Wertschöpfungskette und -partner zu einem SCM sind zunächst die Bereiche und Aktivitäten zu identifizieren, welche die Basis für die logistischen Abläufe bilden:¹¹⁶

- Materialwirtschaft – Beschaffung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen und Zulieferungen von Teilen, Vorprodukten oder Modulen für die weiteren Bearbeitungsschritte;
- Materialflusssysteme – Planung, Disposition und Lokalisierung von Material über alle Prozessschritte hinweg;
- Physische Distribution – Auslieferung der produzierten Güter an die Konsumenten.

Die Aktivitäten in der Materialwirtschaft, den Materialflusssystemen und der physischen Distribution werden in einem zweiten Schritt zusammengefasst. Aus dieser Aggregation können folgende Prozessschritte abgeleitet werden, die beispielsweise bei der Steuerung von Lieferketten zwischen den Wertschöpfungspartnern abgestimmt werden müssen:¹¹⁷

1. Annahme der Bestellung eines Kunden,
 - Empfang und Eingabe,
 - Kreditprüfung/Bearbeitungsfreigabe,
 - Lieferzusage,

¹¹⁵ Vgl. Beckmann 2004, S. 5-9; Werner 2008, S. 38-41 und Kortus-Schultes/Ferfer 2005, S. 10-12.

¹¹⁶ Vgl. Kortus-Schultes/Ferfer 2005, S. 13.

¹¹⁷ Vgl. Kortus-Schultes/Ferfer 2005, S. 13.

2. Bestellung bei (Vor-) Lieferanten,
3. Nachfrageprognose(n),
4. Produktionsplanung,
5. Lagermanagement,
6. Auslieferung an die Kunden.

In dem partnerschaftlichen Abstimmungsprozess innerhalb des SCM sind die folgenden Punkte für die Vermeidung des Bullwhip-Effektes von Bedeutung:¹¹⁸

- Gemeinsame Bedarfsprognose von Materialien und Produkten zur Vermeidung von Informationsdefiziten und zeitlichen Verzögerungen bei der Informationsübermittlung,
- Konstante Beschaffungspolitik mit kleinen Bestellmengen und erhöhter Bestellfrequenz,
- Vermeidung von Bedarfsbündelung durch die Zusammenlegung von Kundennachfragen über mehrere Perioden zur Ausnutzung von Skaleneffekten und Preisvorteilen im Einkauf,
- Vermeidung der Reaktion auf Preisvariationen und Verkaufsförderaktivitäten, da dies zu einer Verzerrung der Bestandsplanung führt.

Für die erfolgreiche Gestaltung und Realisierung eines SCM-Konzeptes wurden in der Literatur weitere Leitlinien und Prinzipien formuliert:¹¹⁹

- Prinzip 1: Segmentierung der Kunden nach Servicebedürfnissen und Anpassung der Supply Chain an die Kundensegmente,
- Prinzip 2: Anpassung des Wertschöpfungsnetzes an die Serviceerfordernisse und die Profitabilität der Kundensegmente,
- Prinzip 3: Ausrichtung der Bedarfsplanung entlang der Supply Chain an erfasste Marktsignale zur Sicherstellung einer konsistenten Vorausplanung und optimaler Ressourcenzuweisung,
- Prinzip 4: Kundenorientierte Produktdifferenzierung und schnelle Produkthanpassung an die Kundenbedürfnisse,
- Prinzip 5: Strategisches Lieferantenmanagement zur Reduzierung der Gesamtkosten für Materialien und Dienstleistungen,

¹¹⁸ Vgl. Werner 2008, S. 39 und Beckmann 2004, S. 8-9.

¹¹⁹ Vgl. Beckmann 2004, S. 10 und Anderson et al. 2007, S. 42-45. Vgl. hierzu auch Kahlmeyer/Liebert 2004, S. 192-193.

- Prinzip 6: Entwicklung einer nachhaltigen Technologiestrategie für die Produkt-, Dienstleistungs- und Informationsflüsse in der gesamten Supply Chain,
- Prinzip 7: Definition von Leistungskennzahlen für die Messung des gemeinsamen Erfolgs in der Supply Chain.

Die Supply Chain wird in anspruchsvollen Planungsprozessen über die Unternehmensgrenzen hinaus als mehrstufige Lieferkette gestaltet. Die beteiligten Unternehmen benötigen für die Verständigung über die Prozesse eine gemeinsame Basis. Für die unternehmensübergreifende Kommunikation ist es daher wichtig, eine einheitliche und standardisierte Begriffsbeschreibung zur Organisation der Lieferkette zu definieren. Das Supply Chain Operations Reference-Modell (SCOR-Modell) bietet einen möglichen Ansatz für den Informationsaustausch zwischen den Unternehmen in der Supply Chain. Das SCOR-Modell¹²⁰ ist ein branchenunabhängiges Standard-Prozess-Referenzmodell und beschreibt die grundsätzliche Funktionalität einer wettbewerbsfähigen Supply Chain über alle Unternehmensgrenzen und Softwaresysteme hinweg.

2.5.2 Erweiterung der Wertschöpfungskette zum Closed-Loop Supply Chain Management

Das SCM-Konzept betrachtet in seiner ursprünglichen Entwicklung den vorwärtsgerichteten und unternehmensübergreifenden Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsprozess von den Lieferanten bis zu den Kunden. Dabei zielt das SCM im Wesentlichen auf den optimalen Transfer der logistischen Material-, Produkt-, Geld- und Informationsflüsse ab. In der Folge von zunehmenden ökologischen Interessen der Kunden und der Unternehmen sowie durch ökologische Regularien seitens der Politik erweiterte sich der SCM-Gedanke auf ökologieorientierte Aspekte. Die erweiterte Produktverantwortung des KrW-/AbfG¹²¹ wirkte im besonderen Maße auf die Interessenverlagerung der Unternehmen von der Entsorgungslogistik hin zur Rückführungslogistik. Die Rückführung von Materialien und die Integration von

¹²⁰ Vgl. Becker 2004, S. 69-77; Bolstorff et al. 2007, S. 15-28; Kortus-Schultes/Ferfer 2005, S. 17-19 und Werner 2008, S. 48-64.

¹²¹ Vgl. § 22 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 1994, S. 12-13.

Die Rückführung von Materialien und die Integration von Konzepten der Reverse Logistics entwickelte das SCM zum Closed-Loop Management (CLM).¹²²

Im weiteren Verlauf entstanden die sogenannten Closed-Loop Supply Chains (CLSC) oder die in der deutschsprachigen Literatur beschriebenen Kreislaufwirtschaftssysteme.¹²³ Die Steuerung und Optimierung von CLSC fallen in den Verantwortungsbereich des Closed-Loop Supply Chain Managements (CLSCM). Unter CLSCM „[...] wird das unternehmensübergreifende, kooperative Management von Material- und Informationsflüssen von der Rohstoffgewinnung bis zum Endkunden verstanden, das auch die Gestaltung von Produktrücknahmen beinhaltet und dabei alle Stufen eines Produktlebenszyklus berücksichtigt.“¹²⁴ Einen Überblick zu CLSC gibt Abbildung 8.

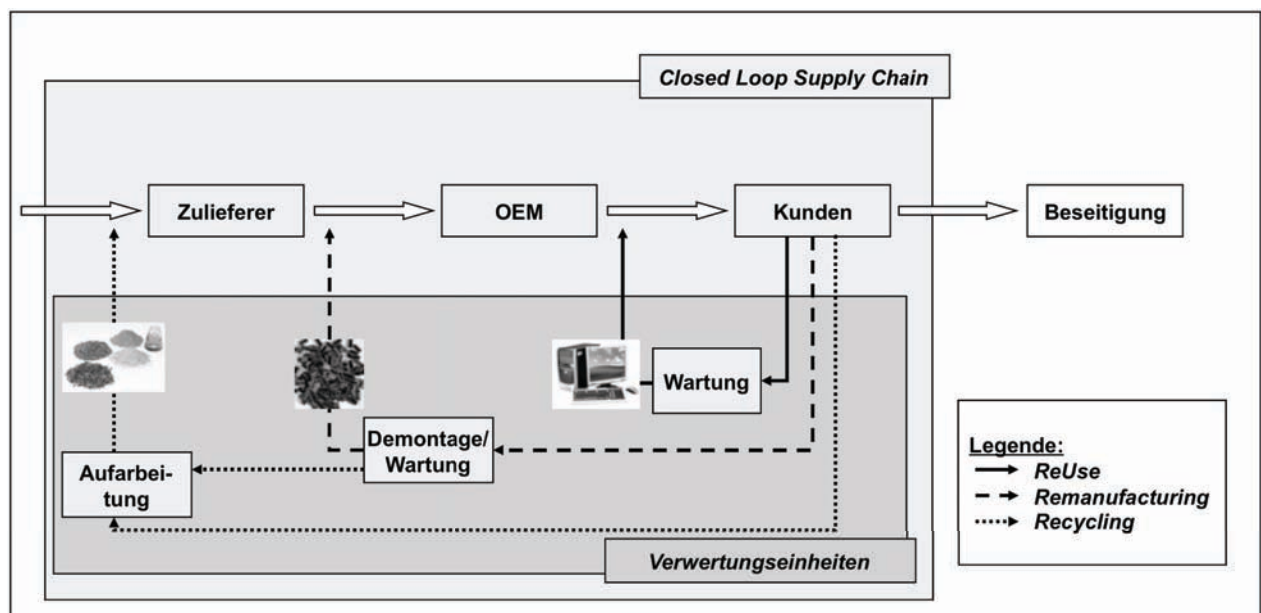


Abbildung 8: Struktur von Closed Loop Supply Chains (Quelle: Tuma/Lebreton 2005, S. 60)

¹²² Vgl. Schultmann et al. 2006, S. 1034-1035; Dyckhoff et al. 2004, S. 14 und Guide/Van Wassenhove 2002, S. 56.

¹²³ Vgl. Tuma/Lebreton 2005, S. 60; Spengler/Schröter 2005, S. 3 und Lebreton 2007, S. 31-33.

¹²⁴ Morana 2006, S. 70. Vgl. hierzu auch Guide/Van Wassenhove 2009, S. 10 und Seitz 2005, S. 5-7.

Die wissenschaftliche Entwicklung von CLSC wird in der Literatur von *Guide* und *Van Wassenhove* durch fünf Phasen beschrieben. Die einzelnen Forschungsphasen haben keinen vorrangig chronologischen, sondern einen aufbauend kumulativen Charakter:

- Phase 1: Phasen der Aufarbeitung,
- Phase 2: von der Aufarbeitung zur Relevanz der Reverse Logistics Prozesse,
- Phase 3: Koordinierung der Reverse Supply Chain,
- Phase 4: Schließung der Stoffkreisläufe,
- Phase 5: Markt- und Preisorientierung.

Phase 1 fokussiert die ingenieurwissenschaftlichen Möglichkeiten, Fähigkeiten und Probleme bei der Aufarbeitung. Die Phasen 2 und 3 beleuchten die Perspektiven und die Koordinierung des Prozessmanagements über die gesamte Supply Chain von den Anfangs- bis zu den Endprozessen. Phase 4 verdeutlicht die dynamische Systemgestaltung über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Phase 5 integriert Markt-, Preis- und Konsumaspekte in das Konzept der CLSC.¹²⁵

Eine sinnvolle Adaption des genannten Phasenmodells auf die Sekundärrohstofflogistik ist möglich und könnte sich folgendermaßen darstellen. Phase 1 repräsentiert die Metall-, Papier- und Glasindustrie, die in ihren Vorreiterrollen den Einsatz von Sekundärrohstoffen seit vielen Jahren etablieren und einen hohen Anteil an der technischen Erzeugung sekundärer Rohstoffe beitragen.¹²⁶ Die Phasen 2 und 3 spiegeln die Erkenntnis zunehmender Rohstoffknappheit, steigender Rohstoffpreise und die Notwendigkeit zur Umsetzung von rückführungslogistischen Aktivitäten wider.¹²⁷ Phase 4 stellt den Prozess der tatsächlichen Substitution von Sekundärrohstoffen aufgrund marktüblicher und rechtlicher Restriktionen dar.¹²⁸ Phase 5 integriert die Markt- und Preisentwicklung für Primär- und Sekundärrohstoffe in das Konzept der Sekundärrohstofflogistik und bewertet die Anwendungs- und Umsetzungsfähigkeit.

¹²⁵ Vgl. Guide/Van Wassenhove 2009, S. 12-16.

¹²⁶ Vgl. Bardt 2006, S. 5-12.

¹²⁷ Vgl. hierzu Abschnitt 2.4.2.2.

¹²⁸ Vgl. hierzu Abschnitt 2.4.2.3.

Die Beteiligung der Unternehmen an der erweiterten Wertschöpfungskette sowie an der Reverse Logistics und Sekundärrohstofflogistik erfordern unternehmensübergreifende und integrierte Strategien zur Rückführung von Rückständen sowie zur Aufarbeitung, Aufbereitung und Materialrückführung in den Produktionskreislauf. Die Strategien müssen mit Hilfe geeigneter Instrumente über die gesamte Wertschöpfungskette koordiniert und gesteuert werden.¹²⁹ Die Gestaltung der Zusammenarbeit in dieser Wertschöpfungskette wird in den weiteren Ausführungen behandelt.

2.6 Zwischenfazit

Die Logistik und insbesondere die Reverse Logistics sorgen für die optimale Gestaltung von vorwärts- und rückwärtsgerichteten Material- und Informationsströmen. Zu Beginn des Kapitels wurde die Bedeutung und Entwicklung der betrieblichen Teilfunktion Logistik für die Unternehmen dargestellt. Anschließend wurde in den weiteren Ausführungen die zunehmende Relevanz der Reverse Logistics erläutert.

Die beschriebene Entwicklung der Rohstoffsituation und die daraus resultierende Rohstoffproblematik hat gezeigt, dass eine Substitution der Primärrohstoffe durch Sekundärrohstoffe in der betrieblichen Produktion zukünftig an Bedeutung gewinnen wird. Die Herstellung von Sekundärrohstoffen und die damit verbundenen vor- und nachgelagerten Prozesse für den Wiedereinsatz im Produktionskreislauf eröffnen für die Sekundärrohstofflogistik ein weites Handlungsfeld und neue Herausforderungen.

Ein wichtiger Punkt ist dabei die Koordination und Integration der beteiligten Unternehmen in der erweiterten Wertschöpfungskette. Die Zusammenarbeit und die effektive Erzeugung von Sekundärrohstoffen erfordern intelligente Konzepte und Lösungen. Die Forschungsfrage mit der sich die Arbeit auseinandersetzt, soll mit Hilfe eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems beantwortet werden. Die Voraussetzungen für die Übertragbarkeit und Umsetzung eines solchen Systems auf die Sekundärrohstofflogistik wur-

¹²⁹ Vgl. Schröter/Spengler 2003, S. 113-115 und Schmid 2009, S. 39-41.

den im vorliegenden Kapitel ausgearbeitet. Im nächsten Kapitel wird die dynamische Disposition analysiert und die Verbindung zu Multiagentensystemen hergestellt.

3 Dynamische Disposition

Das dritte Kapitel beinhaltet die wesentlichen Grundzüge der dynamischen Disposition. Dazu werden zunächst die Disposition charakterisiert und ausgehend davon, die für die dynamische Disposition ausschlaggebenden Umfeldbedingungen wie Marktdynamisierung, Flexibilität in Produktions- und Fertigungsstrukturen sowie stochastische Materialströme dargestellt. Im Anschluss werden ausgewählte dynamische Dispositionstechniken gezeigt. Der Fokus liegt auf der Beschreibung der für diese Arbeit bedeutenden Multiagentensysteme. Zum Ende des Kapitels wird eine Lösung zur Anwendung in der Sekundärrohstofflogistik ausgewählt.

3.1 Charakterisierung der Disposition

Der Begriff Disposition hat mehrere Bedeutungen. Im betriebswirtschaftlichen Umfeld ist er gleichzusetzen mit den Bezeichnungen Aufteilung oder Einteilung. Die Disposition ist ein Akt der Priorisierung und eine Vereinbarung von Aktivitäten unter Einhaltung bestimmter Nebenbedingungen wie etwa zeitlichen Vorgaben, mengenmäßigen Restriktionen oder Kapazitätsbeschränkungen. Die Disposition ist ein wesentlicher Bestandteil in den betrieblichen Funktionen Beschaffung und Produktion, Transport und Distribution sowie Informationsverarbeitung und Kommunikation.¹³⁰ In der Aufbau- und Ablauforganisation eines Unternehmens des produzierenden Gewerbes ist die Disposition zwischen die administrative und operative Ebene einzuordnen. Die sogenannte dispositive Ebene wandelt die externen Kundenaufträge in interne Betriebsaufträge um und löst bei den Lieferanten Abrufaufträge aus. In der dispositiven Ebene werden Aufträge und Leistungsanforderungen nach festgelegten Dispositionsstrategien und unter Vorgabe einer effizienten Ressourcennutzung bearbeitet.¹³¹ Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den Aufgaben und Merkmalen der Organisationsebenen.

¹³⁰ Vgl. Sule 2008, S. 6 und Pinedo 2009, S. 3.

¹³¹ Vgl. Gudehus 2005, S. 52.

Administrative Ebene			
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Unternehmensplanung • Strategieentwicklung • Programmplanung • Marketing • Verkauf • Einkauf • Finanz- und Rechnungswesen • Personalverwaltung • Controlling der Gesamtprozesse 	<i>Merkmale</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Aufträge der Unternehmensleitung – Vorgaben des Marktes – Arbeiten nach Planungs- und Nutzungsstrategien – unsichere Informationen – lange Entscheidungszeiten (Stunden bis Wochen)
Dispositive Ebene			
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Auftragsdisposition • Auftragsverwaltung • Produktionsplanung • Arbeitsvorbereitung • Bestandsführung • Nachschubdisposition • Betriebsmitteldisposition • Auftragsverfolgung • Kontrolle der operativen Prozesse 	<i>Merkmale</i>	<ul style="list-style-type: none"> – externe Aufträge – Vorgaben der administrativen Ebene – Arbeiten nach Dispositionsstrategien – relativ gesicherte Informationen – mittlere Bearbeitungszeiten (Minuten bis Stunden)
Operative Ebene			
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Auslösen der Prozesse • Steuern der Einzelvorgänge • Regeln der Prozesse • Überwachung der Prozesse • Sicherung der Durchführung 	<i>Merkmale</i>	<ul style="list-style-type: none"> – interne Aufträge – Vorgaben der dispositiven Ebene – Ausführung nach Betriebsstrategien – gesicherte Informationen – kurze Reaktionszeiten (Sekunden bis Minuten)

Tabelle 1: Aufgaben und Merkmale der Organisationsebenen (Quelle: Gudehus 2005, S. 53)

Die Disposition ist ein notwendiger Bestandteil für die Planung in Produktions-, Fertigungs- und Logistiksystemen. Das Disponieren ist dabei ein Entscheidungsprozess mit dem Ziel der Optimierung und/oder Minimierung der Auf-

tragsdurchlaufzeiten, der Prozesskosten, der Materialbestände oder der Lieferverzögerungen.¹³²

In dieser Arbeit wird die Disposition der Produktion und Logistik von Sekundärrohstoffen betrachtet. Die grundlegende Definition der Disposition in diesem Sinne ist „[...] die mengenmäßige Aufteilung von Aufträgen mit aktuellen Leistungsanforderungen und deren terminierte Zuweisung zu den verfügbaren Ressourcen.“¹³³

In den vergangenen Jahren lag der Fokus in der Optimierung statischer Dispositionsstrategien mit langen Zeithorizonten. Die ermittelten Lösungen konnten jedoch nur in Umgebungen mit statischen Umfeldbedingungen und ohne die Berücksichtigung unvorhergesehener Ereignisse Anwendung finden.¹³⁴ Aufgrund der schwankenden Materialeinsatzströme in der Sekundärrohstoffproduktion sowie der Möglichkeit des Eintretens unerwarteter Störungen wie Materialengpässe oder -fehllieferungen ist zusätzlich ein Nachdisponieren in kurzen Zeitabständen erforderlich. Aspekte wie zunehmende Marktdynamisierung, Flexibilisierung der Produktions- und Fertigungsstrukturen oder stochastische Materialströme bestätigen diese Notwendigkeit. Eine Möglichkeit auf diese Entwicklungen zu reagieren, liegt in der dynamischen Disposition.

3.2 Dynamische Umfeldbedingungen

3.2.1 Marktdynamisierung

Marktdynamische Bewegungen werden durch Marktkräfte, die über Angebot und Nachfrage entstehen, ausgelöst. Tabelle 2 zeigt einen Überblick zu Marktkräften, ihren Auslösefaktoren und Wirkungsbereichen.

¹³² Vgl. Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 417; Gudehus 2006, S. 4-5 und Specht/Braunisch 2010b, S. 861.

¹³³ Gudehus 2006, S. 3. Vgl. hierzu auch Gudehus/Kotzab 2009, S. 39 und Meier 1985, S. 116.

¹³⁴ Vgl. Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 417; Gudehus 2006, S. 4-5 und Specht/Braunisch 2010b, S. 861.

Marktkräfte	Auslöser	Wirtschaftsgüter	Zeitverlauf
Naturkräfte	<i>naturbedingte Änderung von Versorgungs- und Bedarfsmengen</i>		
Säkularveränderungen ¹³⁵	Natur/Klimaänderungen	Lebensraum, Naturprodukte	säkular ¹³⁶
Fundamentalzyklen	Gestirne/Jahreszeiten	Konsumgüter	zyklisch
Naturereignisse	Ereignisse/Trends	Naturprodukte, Lebensraum	plötzlich/langsam
<u>Naturressourcen</u>	<u>Erschließung/Eerschöpfung</u>	<u>Rohstoffe; Energie</u>	<u>rasch/langsam</u>
Demographie	Bevölkerungsentwicklung	alle Güter	langsam, anhaltend
Aktionskräfte	<i>eigenständige Handlungskräfte mit Marktauswirkung</i>		
Verhaltensänderungen	Wertewandel	einzelne Wirtschaftsgüter	langsam, anhaltend
Innovationen	Ideen/Erfinder/Entwickler	einzelne Wirtschaftsgüter	sofort, einmalig
Geschäftsstrategien	Unternehmer	Teil- oder Gesamtangebot	sofort, anhaltend
Staatseingriffe	Gesetze/Verordnungen	betroffene Güter und Märkte	sofort, anhaltend
Höhere Gewalt	Krieg, Revolution, Unruhen ...	unterschiedlichste Güter	sofort, begrenzte Zeit
Reaktionskräfte	<i>Rückkopplungskräfte aus dem gleichen Gütermarkt</i>		
<u>Anpassungsstrategien</u>	<u>Angebots-/Bedarfsänderung</u>	einzelne Wirtschaftsgüter	verzögert, anhaltend
Abwehrstrategien	Preisdruck/Überangebot	einzelne Wirtschaftsgüter	verzögert, begrenzt
<u>Ausweichstrategien</u>	<u>Preisanstieg/Gütermangel</u>	einzelne Wirtschaftsgüter	verzögert, begrenzt
Marktpanik	plötzliche Marktänderungen	unterschiedlichste Güter	sofort, begrenzte Zeit
Induktionskräfte	<i>Wirkungskräfte auf andere Gütermärkte</i>		
Bedarfsverschiebung	<u>Angebotsänderungen</u>	Konsumgüterbedarf	langsam, anhaltend
<u>Angebotsveränderung</u>	<u>Faktoränderungen</u>	Konsumgüterangebot	langsam, anhaltend

¹³⁵ Säkularveränderungen beziehen sich auf sehr seltene und außergewöhnliche beziehungsweise einmalig elementare Ereignisse, die im Abstand von mehreren hundert Jahren stattfinden.

¹³⁶ säkular (lat.): alle hundert Jahre wiederkehrend, weltlich; Säkulum: das Jahrhundert. Vgl. Wermke et al. 2006, S. 871.

Verdrängung	<u>Substitution</u>	andere Erzeugnisse	langsam, anhaltend
Sogkräfte	<u>Faktoreinsatz</u>	<u>betroffene Einsatzgüter</u>	rasch, anhaltend

Tabelle 2: Marktkräfte (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Gudehus 2007, S. 232)

In der Tabelle 2 ist eine Auswahl der für die weiteren Ausführungen relevanten Marktkräfte und Aspekte durch Unterstreichung markiert. Im Bereich der Naturkräfte kann beispielsweise die rasche oder langsame Erschöpfung von natürlichen Ressourcen zu marktdynamischen Bewegungen führen. Gestiegene Rohstoffpreise, veränderter Faktoreinsatz und Substitutionsmöglichkeiten oder ein stochastisches Angebot von Einsatzgütern können dynamische Dispositionsstrategien bei den betroffenen Unternehmen der Sekundärrohstoffindustrie begründen.

3.2.2 Flexibilität in Produktions- und Fertigungsstrukturen

Zunehmender globaler Wettbewerb, individualisierte Kundennachfrage und komplexe Produktionsstrukturen haben die Unternehmen zu einer veränderten Sichtweise in ihrem Produktivitäts- und Qualitätsdenken geführt. Der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens wird daher maßgeblich von seiner Reaktionsfähigkeit auf veränderte Wettbewerbssituationen oder auf Kundenwünsche nach verschiedenen Produktvarianten beeinflusst. Die Unternehmen müssen in der Lage sein, ihre Produktions- und Fertigungsstrukturen schnell und flexibel auf die geänderten Anforderungen anzupassen. Die Flexibilität wird dabei häufig als strategischer Erfolgsfaktor betrachtet, der den langfristigen Unternehmenserfolg und die Überlebenswahrscheinlichkeit der Unternehmen erhöht.

Flexible Produktions- und Fertigungssysteme oder die in der englischsprachigen Literatur genannten Flexible Manufacturing Systems (FMS) geben die Möglichkeit, diesen Anforderungen gerecht zu werden. Dabei ist nicht nur auf eine ausgangs-, sondern auch auf eine eingangsorientierte Flexibilität der Faktoren zu achten, wie es bei der stochastischen Versorgung der Produktion mit

Rohstoffen oder Einsatzmaterialien der Fall sein kann. Die Flexibilisierung in Produktions- und Fertigungssystemen hat mit dem Aufkommen neuer IT- und EDV-Lösungen in den letzten zehn bis zwanzig Jahren an Bedeutung gewonnen. FMS setzen hochautomatisierte und computergestützte Prozesse voraus, um schnell auf geänderte Wettbewerbsbedingungen und Kundenwünsche zu reagieren. In der Literatur werden FMS wie folgt definiert:¹³⁷

„[...] as a system dealing with high level distributed data processing and automated material flow using computer-controlled machines, assembly cells, industrial robots, inspection machines and so on, together with computer integrated-handling and storage systems.“

Die wesentlichen Elemente und Charakteristika eines FMS sind folgende:

- Unabhängige CNC-Maschinen,
- Automatische Materialtransport-Systeme,
- Übergreifender, rechnergestützter Kontrollmechanismus zur flexiblen und koordinierten Steuerung der Maschinen- und Materialtransport-Systeme.

Mit Hilfe von FMS können gleichzeitig verschiedene Produktvarianten und -typen oder Konstruktionsänderungen an den Produkten bearbeitet werden. Dies setzt dynamische Dispositionsregeln und Algorithmen in FMSs voraus, um die verschiedenen Rohteil- oder Rohstoff-Inputsequenzen, Fertigungsaufträge, Maschinen- und Materialtransportsysteme steuern zu können.¹³⁸

3.2.3 Stochastische Materialströme

3.2.3.1 Stochastische Stoffströme und Bestandsdisposition

Die Materialströme im Bereich der rückführenden Logistik sind mit einem stochastischen oder auch zufallsbedingten und -abhängigen Element markiert. Dieser Zufallscharakter führt zu Unsicherheiten im Produktionsplanungs- und

¹³⁷ Kaighobadi/Venkatesh 1994, S. 27. Vgl. hierzu auch Ranky 1983; Tempelmeier/Kuhn 1993; Warnecke 1984; Adam 1993; Wirth 1989 und des Weiteren auch Spur 1986 oder Tolio 2009.

¹³⁸ Vgl. Blecker/Kaluza 2004, S. 177; Chan/Chan 2001, S. 760; Kaighobadi/Venkatesh 1994, S. 26-27 und Slack 2005, S. 1190.

-steuerungsprozess sowie in der Bestandsdisposition.¹³⁹ *Inderfurth* beschreibt sechs Determinanten, die das Verhalten in der rückführenden Logistik beeinflussen. Die „Unsicherheiten“ repräsentieren in Abbildung 8 die Hauptdeterminante der Beeinflussung.

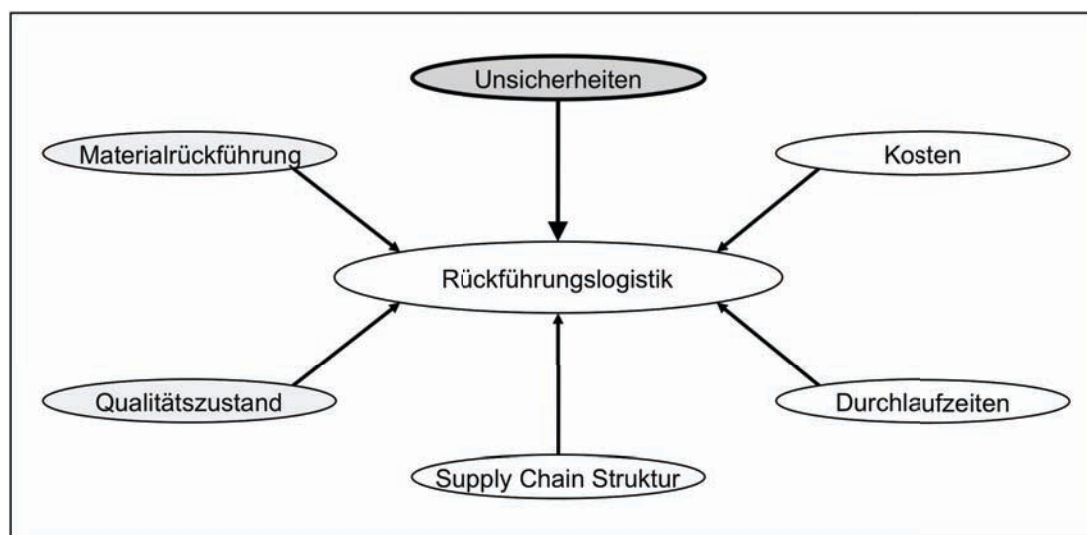


Abbildung 9: Determinanten der Rückführungslogistik (Quelle: Inderfurth 2005a, S. 324)

Die Beeinflussung des Verhaltens der Materialströme in der Rückführungslogistik wird durch eine oder mehrere Determinanten hervorgerufen. Den größten Einflussfaktor bildet die Materialrückführung von Rückständen. Die Rückflussmenge hat Auswirkungen auf den Auslastungsgrad des Produktionsprozesses von Sekundärrohstoffen und bestimmt indirekt die Höhe des Versorgungsangebots auf den Sekundärrohstoffmärkten. Der Qualitätszustand der Rückstände beeinflusst im Wesentlichen den Ausstoß der Sekundärrohstoffproduktion und den Gütegrad der Sekundärrohstoffe. Die Supply Chain Struktur – Einstufigkeit, Mehrstufigkeit, Linearität, Komplexität – die Länge der Durchlaufzeiten und die Höhe der Kosten wirken in gleichem Maße auf die Materialströme in der Rückführungslogistik.¹⁴⁰ Der Fokus in dieser Arbeit liegt jedoch auf der Kombination der Determinanten Materialrückführung, Qualitätszustand und Unsicherheiten.

¹³⁹ Vgl. Inderfurth 2005a, S. 318-320 und Inderfurth 2005b, S. 30-32.

¹⁴⁰ Vgl. Inderfurth 2005a, S. 324-334; Guide/Van Wassenhove 2003, S. 361-365 und Aras et al. 2004, S. 319-320.

Die zufallsabhängigen Rückflüsse im Bereich der Rückführungslogistik und das damit verbundene Maß an Unsicherheit im Produktionsprozess für Sekundärrohstoffe führen dazu, dass traditionelle Lagerverwaltungs- und Bestandsführungskonzepte für die Anwendung in dieser Situation nicht geeignet sind. Für die optimale Produktionsplanung zur Deckung des Sekundärrohstoffbedarfs wird eine stochastische Bestandsdisposition vorgeschlagen.¹⁴¹

Die genannten zeitlichen und mengenmäßigen Unsicherheiten hinsichtlich des Anfalls und Zustroms von Rückständen werden durch die qualitätsbezogene Ausbeuteunsicherheit von Rückständen erhöht. Für eine integrierte Produktionsplanung und Materialdisposition unter Einbeziehung dieser Unsicherheiten wird in der Literatur auf den Einsatz von Sicherheitsbeständen hingewiesen. Sicherheitsbestände bieten den Vorteil sowohl auf rückflussbezogene Unsicherheiten als auch auf bedarfsseitige Nachfrageschwankungen zu reagieren.¹⁴²

Inderfurth beschreibt ein Verfahren für die Festlegung von Sicherheitsbeständen zur Absicherung gegenüber den kombinierten rückfluss- und bedarfsseitigen Unsicherheiten. Er verweist dabei auf die Komplexität des Dispositionsproblems, wenn Rückflüsse und Bedarfe als stochastische Größen angesehen werden. In diesem Fall ist die Festlegung von Sicherheitsbeständen ein schwer lösbares Problem, was durch eine verbrauchsgesteuerte stochastische Disposition mit dynamisch angepassten Sicherheitsbeständen behoben werden kann.¹⁴³

Eine weitere Möglichkeit zur Bestandsdisposition wird beispielsweise von *Guide* und *Srivastava* beschrieben, die in ihren Ausführungen Pufferbestände zwischen bestimmten Schnittstellen im Produktionsprozess der rückführenden Logistik empfehlen. Die Pufferbestände dienen zur Nivellierung von Verzögerungen oder Wartezeiten im Produktionsprozess.¹⁴⁴ *Van der Laan et al.* prä-

¹⁴¹ Vgl. Inderfurth 2005b, S. 29 und Tibben-Lembke/Rogers 2002, S. 279.

¹⁴² Vgl. Inderfurth 2005b, S. 31 und Ferrer/Whybark 2001, S. 118.

¹⁴³ Vgl. für eine ausführliche Beschreibung zur stochastischen Bestandsdisposition Inderfurth 2005b.

¹⁴⁴ Vgl. Guide/Srivastava 1998.

sentieren ein kostenminimales (s,Q)-Lagerhaltungsverfahren¹⁴⁵ für den zwischenzeitlichen Ausgleich von Rückflüssen und Nachfragen.¹⁴⁶ Ein dynamisches Bestandsmanagement in der Kreislauflogistik wird durch *Kleber* vorgestellt, der mit Hilfe des Pontryagins Maximumprinzip¹⁴⁷ neue Ansätze für die Lagerhaltung eröffnet.¹⁴⁸ Die genannten Möglichkeiten dienen dazu, durch eine geeignete Bestandsdisposition auf die Unsicherheiten im Produktionsplanungs- und -steuerungsprozess im Bereich der rückführenden Logistik reagieren zu können.

3.2.3.2 Vorhersagetechniken von Materialströmen

Auf der Seite der Materialrückflüsse können zur Behebung der zeitlichen und mengenmäßigen Unsicherheiten Vorhersage- oder Prognosemethoden zum Einsatz kommen. Mit Hilfe dieser Instrumente kann die langfristige Entwicklung der rückführenden Materialströme ermittelt werden. Sie unterstützen die frühzeitige Reaktion und Berücksichtigung in gesamtwirtschaftlichen und unternehmerischen Planungen. So ist es beispielsweise sinnvoll, bei einem Mangel an Rückständen in die Abbautechnik für Rohstoffe zu investieren. Bei einem ausreichenden Angebot ist es dagegen zweckmäßig, geeignete Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse für die Produktion von Sekundärrohstoffen zu planen. Für die Vorhersage von Material- oder Rückflusströmen sind unterschiedliche Denkweisen, Ansatzpunkte und Techniken in der Literatur zu finden.

Wird der Produktionsstandort eines Sekundärrohstoffproduzenten als Quelle von Stoffströmen beziehungsweise sekundären Materialien betrachtet, so sind Vorhersagetechniken für die vorwärts gerichteten Materialströme erforderlich. Sie dienen dazu, den Materialbedarf bereits vor der eigentlichen Rückstandsverarbeitung zu prognostizieren. Es wird ermittelt, wie hoch die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen ist und wie viele Rückstände für deren Produktion zu beschaffen sind. Die Bereitstellung der Rückstände erfolgt in diesem Fall nach

¹⁴⁵ Vgl. zu (s,Q) Lagerhaltungsverfahren Arnold et al. 2008, S. 157-158.

¹⁴⁶ Vgl. van der Laan et al. 1996.

¹⁴⁷ Vgl. zu Pontryagins Maximumprinzip Frey 1969 und Britsch/Schips 1970.

¹⁴⁸ Vgl. Kleber 2006, S. 9-45.

dem Prinzip der „Pull-Steuerung“.¹⁴⁹ Für die Prognose können beispielsweise die Intensity of Use Technik, die Input-Output-Analyse oder Nachfrage- und Produktionsfunktionen genutzt werden.¹⁵⁰

Für die nachgelagerten, rückwärts fließenden Materialströme können ebenfalls Vorhersagetechniken zum Einsatz kommen. Diese dienen dazu, die Rückstandsverfügbarkeit nach der Material- beziehungsweise Produktnutzung vorherzusagen. In diesem Fall geht es um die Ermittlung der Rückstandsmengen, die für die Produktion von Sekundärrohstoffen zur Verfügung stehen. Die Bereitstellung der Materialien erfolgt hier nach dem Prinzip der „Push-Steuerung“.¹⁵¹ Die Material-Prognose stützt sich beispielsweise auf die Berechnung von Rückstandsströmen auf Basis von produzierten Gütern in der Vergangenheit beziehungsweise auf Produkt- und Materialmengen, die vom Endkunden genutzt werden. Schätzungen über die Verteilungen der Lebens- und Gebrauchszeiten geben Aufschluss über den Anfall zukünftiger Rückflüsse. Dieses Input-Lifetime-Modell liefert allerdings nur für kurzfristige Prognosen verlässliche Ergebnisse. Für langfristige Prognosen sind die Daten zukünftiger Produktionsmengen notwendig, welche jedoch nur geschätzt werden können.¹⁵²

Eine weitere Möglichkeit der Vorausschau besteht in der Kombination der genannten vorwärts und rückwärts gerichteten Vorhersagetechniken, um Materialeingangs- und -ausgangsströme sowie Produkt- und Materialmengen, die sich im Kundengebrauch befinden, zu bestimmen.¹⁵³ *Kelle* und *Silver* haben vier verschiedene Vorhersagemethoden entwickelt, die auf unterschiedlichen Informationen beruhen. Methode 1 ist der einfachste Ansatz. Er basiert auf dem durchschnittlichen Rückflussverhalten von Materialien. Die Daten, die diese Methode zur Vorhersage verwendet, beinhalten einerseits die Wahrscheinlichkeit, dass ein Material oder Gut jemals wieder in den Stoffkreislauf

¹⁴⁹ Vgl. Arnold et al. 2008, S. 10.

¹⁵⁰ Vgl. Müller 2006, S. 142 und Specht/Braunisch 2010a, S. 28. Vgl. hierzu auch Tilton 1990; Fisher et al. 1972; Kopp/Smith 1980 oder Leontief et al. 1983.

¹⁵¹ Vgl. Arnold et al. 2008, S. 11-12.

¹⁵² Vgl. Müller 2006, S. 143 und Specht/Braunisch 2010a, S. 28. Vgl. hierzu auch Baccini/Bader 1996; Zeltner et al. 1999 oder Kleijn et al. 2000.

¹⁵³ Vgl. Müller 2006, S. 143 in Verbindung mit Binder et al. 2001.

zurückfließt und andererseits die jeweils erwartete Rückflusszeit unter Berücksichtigung ihrer Varianz.

Methode 2 verwendet detailliertere Informationen. Die Vorhersagen basieren auf den Materialrückflussdaten vergangener Zeitperioden und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Material oder Gut nach $t=1, 2, \dots, n$ Zeitperioden in den Stoffkreislauf zurückfließt. Das heißt, wenn ein Material in der Vergangenheit in 90 Prozent der Fälle nach zwei Zeitperioden zurückgeflossen ist, besteht eine 90-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass dieses Material auch in Zukunft nach zwei Zeitperioden zurückfließt.

Methode 3 stellt die genaueste Vorhersagemöglichkeit unter Verwendung vergangener Daten dar. Sie verwendet die gleichen Daten wie Methode 2 und berücksichtigt zusätzlich die Rückflussmengen eines bestimmten Materials x_i in jeder vorangegangenen bis zur aktuellen Zeitperiode. Die Methodik setzt voraus, dass jedes Material individuell gekennzeichnet und registriert wird, wann es in den Stoffkreislauf hinein- und wieder zurückfließt. Ein einfaches Beispiel zeigt die Vorgehensweise: Wird in Periode 2 ein Material x_{i2} zehn mal ausgeliefert und sind am Ende der aktuellen Periode 4 bereits alle Materialien \bar{x}_{i2} wieder zurückgeflossen, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Material x_{i2} in der folgenden Periode 5 zurückfließt 0. Diese vereinfachte Darstellungsweise erfordert jedoch, dass das Material x_i in den betrachteten Perioden 2 bis 4 nicht wiederholt ausgeliefert wurde. Eine genaue Prognose wäre dadurch nicht mehr möglich. Die Informationen über die realisierten Materialrückflüsse bis zu einem bestimmten Zeitpunkt geben demnach die Möglichkeit zu genaueren Prognosen zukünftiger Rückflüsse.

Methode 4 verwendet ebenfalls die Daten der Methode 2 sowie die Rückflussmengen der Materialien jeder vorangegangenen Zeitperiode bis zur aktuellen Zeitperiode in aggregierter Form. Die Kumulation der Materialmengen wird zu Grunde gelegt, da es in der Praxis schwierig ist, jedes Material eindeutig zu identifizieren, zu verfolgen und den genauen Rückflusszeitpunkt zu bestimmen. Folgendes Beispiel stellt diese Situation dar. In Periode 2 werden Materialien x_{i2} und in Periode 3 Materialien x_{i3} ausgeliefert. Wenn in den

kommenden Perioden die Rückflussmengen der Materialien x_{ikum} lediglich in kumulierter Form erfasst werden, ist keine eindeutige Zuordnung mehr möglich, um welches Material x_{ij} es sich genau handelt. Die Vorhersagen kommender Rückflüsse sind im Gegensatz zu Methode 3 durch Unsicherheit gekennzeichnet, was zukünftige Planungen negativ beeinflussen kann.¹⁵⁴

Die genannten Vorhersage- und Prognosemethoden weisen zu einem großen Teil einen modellhaften Charakter auf, der in der Praxis nur schwer umzusetzen ist. Die Methoden garantieren daher keine vollständige Prognosegenauigkeit der anfallenden Materialströme. In der Literatur sind zudem zahlreiche weitere Möglichkeiten für die Prognose von Materialflüssen zu finden,¹⁵⁵ die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht umfassend betrachtet werden.

3.3 Dynamische Dispositionstechniken

3.3.1 Ansätze zu dynamischer Disposition

Unternehmen operieren häufig in dynamischen Umgebungen mit ständig wechselnden Umfeldbedingungen¹⁵⁶ sowie plötzlich eintretenden und unvorhergesehen Ereignissen. Diese sogenannten „Real-Time Events“ wie etwa Maschinenstillstände, Sofortbestellungen, Materialengpässe oder verspätete Materiallieferungen verändern bereits bestehende Dispositionspläne oder machen sie unbrauchbar.¹⁵⁷

Unter solchen Bedingungen ist es sinnvoll, von den langen Dispositionsperioden statischer Dispositionssysteme auf kurze Dispositionsperioden dynamischer Dispositionssysteme umzustellen. Dadurch können unerwartete Ereignisse in den Planungen besser berücksichtigt werden. Die Grundregeln und Prinzipien der dynamischen Disposition sind:¹⁵⁸

- klare Aufgabenteilung zwischen Disposition und Planung,

¹⁵⁴ Vgl. Kelle/Silver 1989, S. 18-25.

¹⁵⁵ Vgl. zum Beispiel Oliva/Watson 2009; Toktay 2003; Karavezyris 2001 oder Goh/Varaprasad 1986.

¹⁵⁶ Vgl. hierzu Abschnitt 3.2.

¹⁵⁷ Vgl. Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 418.

¹⁵⁸ Vgl. Gudehus 2006, S. 8-9.

-
- zielgerichtete Organisation der Disposition,
 - flexible Kurzzeitprognose und rollierende Mittelfristprognose,
 - Sortimentseinteilung in Lager- und Auftragsartikel,
 - permanente Auftragsdisposition,
 - flexible Lagerdisposition,
 - korrekte und vollständige Stammdaten und Kostensätze,
 - Aufgabenteilung zwischen Disponenten und Dispositionsprogramm.

Unter Berücksichtigung unvorhergesehener Ereignisse kann in Abhängigkeit von der Auslösung der Disposition zwischen perioden- und ereignisdynamischer Disposition unterschieden werden. Während die periodendynamische Disposition in kurzen und regelmäßigen Zeitabständen erfolgt, findet die ereignisdynamische Disposition unmittelbar nach dem Eintreten eines unerwarteten Ereignisses statt. Dabei werden alle betreffenden Aufträge und Ressourcen neu terminiert und aufgeteilt. Eine rein ereignisgesteuerte Disposition ist mit zunehmender Ereignishäufigkeit nur mit hohem Aufwand und entsprechendem Zeitbedarf realisierbar. In diesem Zusammenhang ist eine Mischform aus perioden- und ereignisdynamischer Disposition besser geeignet. Dabei erfolgt die Disposition periodisch und wird in Abhängigkeit von der Bedeutung eines Auftrags oder Vorfalls ereignisgesteuert angepasst.¹⁵⁹ Eine Weiterführung dieser Betrachtungen führt in der Literatur zu voraussagender und prognostizierender Disposition. In Abschnitt 4.6.2.1 wird diese Weiterführung noch einmal thematisiert.

Für die Lösung dynamischer Dispositionsprobleme sind Entscheidungsunterstützungsinstrumente notwendig, welche die Aufträge und Ressourcen in dynamischen Umgebungen terminieren und aufteilen sollen. Eine Auswahl der Techniken wird im Folgenden vorgestellt:¹⁶⁰

- Prioritätsregeln,
- Heuristiken,
- Meta-Heuristiken,
- Künstliche Intelligenz und

¹⁵⁹ Vgl. Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 419-420 und Gudehus 2006, S. 6.

¹⁶⁰ Vgl. Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 420-422.

- Multiagentensysteme.

Die einfachste Dispositionsregel, die allgemein bekannt und verständlich ist, ist die Aufteilung der Aufträge und Ressourcen nach Prioritäten. Mit Hilfe von gesetzten Prioritäten ist eine leichte Einteilung der Produktionsaufträge und eine aufwandsarme Fertigungssteuerung möglich. Eine Auswahl von Prioritätsregeln zeigt Tabelle 3.

Abkürzung	Bezeichnung	Erläuterung
FCFS/LCFS	First/Last come first served-Regel	Reihenfolge der Bearbeitung wird durch die Reihenfolge der Ankünfte bestimmt
KOZ/LOZ	Kürzeste/Längste Operationszeit-Regel	Auftrag mit kürzester/längster Operationszeit hat höchste Priorität
KRB/GRB	Kleinste/Größte Restbearbeitungszeit-Regel	Auftrag mit kleinster/größter Restbearbeitungszeit hat höchste Priorität
WAA/MAA	Wenigste/Meiste noch auszuführende Arbeitsschritte-Regel	Auftrag mit den wenigsten/meisten noch auszuführenden Arbeitsschritten hat höchste Priorität
KGB/GGB	Kleinste/Größte Gesamtbearbeitungszeit-Regel	Auftrag mit kleinster/größter Gesamtbearbeitungszeit hat höchste Priorität
FLT	Früheste Liefertermin-Regel	Auftrag mit dem frühesten Liefertermin hat höchste Priorität
FAT	Früheste Anfangstermin-Regel	Auftrag mit dem frühesten Anfangstermin aller freigegebenen Aufträge hat höchste Priorität
SZ	Schlupfzeit-Regel	Auftrag mit der kleinsten zeitlichen Differenz zwischen Liefertermin und Restbearbeitungszeit hat höchste Priorität
WT	Wert-Regel	Auftrag mit dem größten Produktendwert oder dem im Produktionsprozess aktuell größten Produktwert hat höchste Priorität
ZUF	Zufalls-Regel	Zufällige Auswahl und Priorisierung der Aufträge

Tabelle 3: Prioritätsregeln (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Vahrenkamp/Siepermann 2010, S. 1488 und Blohm et al. 2008, S. 405)

Heuristiken sind problemspezifische Dispositionsregeln. Mit ihnen können relativ gute Dispositionslösungen gefunden werden. Sie garantieren jedoch auf-

grund ihres Lösungsvorgehens keine Optimalität. Bekannte Heuristiken sind beispielsweise die Right-Shift-Heuristik, die Match-Up Schedule Repair Heuristik oder die Partial Schedule Repair Heuristik.¹⁶¹ In den vergangenen Jahren sind verstärkt Meta-Heuristiken wie etwa Tabu-Search, Simulated Annealing oder Genetic Algorithms¹⁶² zur Lösung von Dispositionsproblemen zum Einsatz gekommen. Ausgehend von einer bereits gefundenen Lösung werden mit Meta-Heuristiken iterativ weitere vorteilhaftere Lösungen gesucht. Weitere Instrumente sind die Künstliche Intelligenz, zum Beispiel Knowledge-Based-Systeme, Neuronale Netzwerke, Fuzzy-Logik oder Petri-Netze¹⁶³ die ebenfalls zur Lösung von Dispositionsproblemen geeignet sind. Im Folgenden wird auf Multiagentensysteme (MAS) eingegangen, da sie zur Lösung dynamischer Dispositionsprobleme geeignet sind.¹⁶⁴

3.3.2 Multiagentensysteme

3.3.2.1 Einordnung des Begriffs

Multiagentensysteme werden in Produktion und Logistik seit Mitte der 1980er und Anfang der 1990er Jahre erforscht. Die daraus resultierenden Fähigkeiten und Vorteile von MAS¹⁶⁵ bieten sich für einen Einsatz im Rahmen von Planungs- und Steuerungsprozessen industrieller Fertigungssysteme an. Das Konzept der MAS besteht aus mehreren intelligenten menschlichen oder Softwareagenten, die räumlich verteilt in einem System unabhängig voneinander handeln, miteinander kommunizieren und kooperieren. MAS liegen im Schnittpunkt mehrerer Wissenschaftsdisziplinen. Die Wichtigsten sind die Agententechnologie und die Verteilte künstliche Intelligenz (VKI).¹⁶⁶

¹⁶¹ Vgl. zu den genannten Heuristiken auch Yamamoto/Nof 1985; Abumaizar/Svestka 1997 oder Bean et al. 1991.

¹⁶² Vgl. zu den genannten Meta-Heuristiken auch Reeves 1993; Chryssolouris/Subramaniam 2001; Glover/Laguna 1997 oder Pham/Karaboga 2000.

¹⁶³ Vgl. zu den genannten Instrumenten für die Künstliche Intelligenz Kerr/Szelke 1995 oder Zweben/Fox 1994.

¹⁶⁴ Vgl. Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 420-427.

¹⁶⁵ Vgl. zu den Fähigkeiten und Vorteilen von MAS Zelewski 1998a, S. 315-316 und hierzu auch Dangelmaier et al. 2002, S. 552-553.

¹⁶⁶ Vgl. Zelewski 1998b, S. 137; Dangelmaier et al. 2002, S. 555 und Ferber 2001, S. 44.

Agententechnologie

Die Agententechnologie ist in verschiedene Forschungsgebiete eingebettet. Sie berührt die Bereiche der Informatik sowie der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Der Bereich der Informatik behandelt technologische Aspekte und Fragestellungen von Softwareagenten. Der wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Bereich untersucht Fragen zur rationalen Entscheidungsunterstützung und zum Verhalten oder der Formalisierung von Intelligenz eines Agenten. Agenten werden in der Literatur nicht einheitlich definiert. Die einfachste Bezeichnung für einen Agenten ist ein „Handelnder“ im Auftrag eines anderen. Der Begriff Agent beinhaltet dabei eine Menge von Forschungs- und Entwicklungsgegenständen, die für die „Handlung“ in Frage kommen. Die Vorstellungen von Agenten reichen von menschlichen Akteuren bis hin zu simulierten Automaten. *Fischer* gliedert zur Vereinfachung in menschliche Agenten, Hardware- und Softwareagenten. Die wichtigsten Charakteristika von Agenten sind Reaktivität, Autonomie, Soziabilität und Rationalität. Eine Weiterführung dieser Eigenschaften sind Lernfähigkeit, Realzeitfähigkeit, Mobilität sowie Ehrlichkeit, Vertrauenswürdigkeit und Zuverlässigkeit.¹⁶⁷ Nicht jeder Agent verfügt über die gleichen Eigenschaften. Tabelle 4 gibt einen Überblick zur Klassifikation und Eigenschaften von Agenten.

Agentenklassen	Eigenschaften
Kognitive Agenten	Kognitive Eigenschaften, Lernfähigkeit
Informationsagenten	Adaptivität, Lernfähigkeit
Mobile Agenten	Flexibilität, Mobilität
Kooperative Agenten	Kommunikation und Kooperation
Konkurrierende Agenten	Rationalität, Kommunikation
Reaktive Agenten	Realzeitfähigkeit
Transaktionsagenten/Interfaceagenten	Adaptivität, Realzeitfähigkeit

Tabelle 4: Klassifikation und Eigenschaften von Agenten (Quelle: Fischer 2004, S. 93)

Im Kontext von Produktionsnetzwerken und der Koordinierung von Produktionsprozessen haben sich für MAS zwei Agententypen durchgesetzt. Diese

¹⁶⁷ Vgl. Fischer 2004, S. 88-91; Klügl 2001, S. 13-15; Wooldrige/Jennings 1995, S. 116-117 und Georgakarakou/Economides 2008, S. 6-8.

sind mit den genannten Eigenschaften entsprechend ausgestattet und werden kurz vorgestellt:¹⁶⁸

- Ressourcenagenten – verwalten agentenspezifische Ressourcen. Dabei handelt es sich um einzelne Betriebsmittel wie etwa eine Maschine oder ein Transportfahrzeug. Eine agentenspezifische Ressource kann auch eine Gruppe von zusammenhängenden Betriebsmitteln beinhalten wie zum Beispiel eine flexible Fertigungsinsel, ein Komplettbearbeitungszentrum oder eine vollständige Fabrik.
- Auftragsagenten – verwalten agentenspezifische Aufträge. Der jeweilige Auftrag eines Agenten kann sowohl aus Kunden- als auch aus Produktionssicht definiert sein. Die Auftragsagenten fragen die zur Erfüllung des Auftrags notwendige Arbeitsleistung bei den Ressourcenagenten nach, welche von diesen entsprechend erbracht werden müssen.

Im weiteren Verlauf der Arbeit erfolgt eine nähere Spezifizierung von Agenten und MAS.

Verteilte künstliche Intelligenz

Das Wissenschaftsgebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) hat seinen Ursprung in den 1950er Jahren und ist ein Teilbereich der Informatik. KI verfolgt das Ziel, „[...] menschliche Wahrnehmungs- und Verstandesleistungen zu operationalisieren und durch Artefakte, kunstvoll gestaltete technische – insbesondere informationsverarbeitende – Systeme verfügbar zu machen“.¹⁶⁹ Die Orientierung und die Nachbildung der Fähigkeiten des Menschen zum Denken, Lernen und Problemlösen liegen hier im Vordergrund. Durch diese Adaption erfolgt eine Leistungssteigerung bei der Informationsverarbeitung von Computerprogrammen. Diese unterstützen, entlasten oder befreien den Menschen bei seiner Aufgabenbearbeitung. Darüber hinaus sollen neue oder effizientere Lösungen entstehen.¹⁷⁰

¹⁶⁸ Vgl. Zelewski 1998a, S. 317-318; Zelewski 1998b, S. 141-142; Haasis et al. 2010, S. 269-270; Mönch 2006a, S. 87-88 und Teuteberg 2005, S. 17-18.

¹⁶⁹ Görz/Wachsmuth 2003, S. 1.

¹⁷⁰ Vgl. Ten Hompel et al. 2008, S. 25 und Lämmel/Cleve 2008, S. 14.

Der Aspekt der intelligenten Wahrnehmung, Schlussfolgerung oder Handlung unterstreicht den grundsätzlich interdisziplinären Charakter des Forschungsgebietes. Die ingenieurwissenschaftliche Komponente der Informatik muss mit den kognitionswissenschaftlichen Komponenten der Philosophie, Psychologie, Linguistik und den Neurowissenschaften eng verknüpft werden, um Ergebnisse im Bereich der KI-Forschung erzielen zu können.¹⁷¹

Das Konzept der VKI ist mit der Agententechnologie dicht verbunden. Es stützt sich auf die Verteilung von Intelligenz auf mehrere Agenten oder auf eine gesamte Agentengesellschaft. Der Hintergrund oder die Idee des Ansatzes ist die Zusammenarbeit von verschiedenen Experten zur Lösung eines komplexen Problems. Dazu ist eine Vernetzung der einzelnen Agenten oder Experten erforderlich. Mit der Internettechnologie sind eine Vernetzung solcher Systeme und das Konzept für MAS mit seinen Möglichkeiten zur Interaktion zwischen den einzelnen Agenten in den Vordergrund gerückt.¹⁷²

Für die gemeinsame und intelligente Lösung von komplexen Problemen in MAS sind drei Koordinierungsprobleme zu bewältigen:¹⁷³

- Segmentierungsaufgabe – Zerlegung des Problems in Teilprobleme, die sich unabhängig voneinander bearbeiten lassen,
- Allokationsaufgabe – Zuordnung der Teilaufgaben an die arbeitsteilnehmenden Agenten unter Berücksichtigung übergeordneter Ziele,
- Synthesaufgabe – Zusammenführung der Teillösungen, so dass die ursprüngliche Aufgabe in ihrer Gesamtheit erfüllt wird.

3.3.2.2 Implementierung und Anwendung von Multiagentensystemen

Im produktionswirtschaftlichen Umfeld wurde seit Mitte der 1980er Jahre begonnen, Multiagentensysteme zu implementieren und auf ihre Funktionsfähigkeit zu testen. Beispiele dafür sind:

- „Yet Another Manufacturing System“ (YAMS),¹⁷⁴

¹⁷¹ Vgl. Görz/Wachsmuth 2000, S. 1.

¹⁷² Vgl. Müller 1993, S. 9 und Ten Hompel et al. 2008, S. 25.

¹⁷³ Vgl. Zelewski 1998a, S. 316 und Zelewski 1998b, S. 140.

¹⁷⁴ Vgl. Parunak 1987.

-
- „Cooperative Scheduling System“ (CSS),¹⁷⁵
 - „Distributed Reactive Management System“ (DREAM),¹⁷⁶
 - „Dezentrale Produktionssteuerungs-Experten“ (DEPRODEX)¹⁷⁷ oder
 - „Adaptive Multi-Agent Manufacturing System Architecture“ (MetaMorph).¹⁷⁸

YAMS ist beispielsweise eines der ersten autonomen Produktionssysteme, das mit Hilfe von Agenten gesteuert und koordiniert wird. Der Gegenstand des Konzeptes ist die Verhandlung zwischen Auftrags- und Ressourcenagenten zur Erzeugung von Produktionsaufträgen für die Maschinenagenten unter der Nutzung des Contract Net Protocol.¹⁷⁹ MetaMorph ist zum Beispiel ein Mediator-System für die Dynamische Disposition großer heterogener Produktionssysteme. Die MetaMorph Architektur gliedert das gesamte Produktionssystem in verschiedene kleinere multiagentenbasierte Produktionssysteme auf und steuert durch die Interaktion mit dem Mediator den gesamten Produktionsprozess.¹⁸⁰

MAS haben im betriebswirtschaftlichen Umfeld nicht nur in der Produktionsplanung und -steuerung Einzug erhalten. Die Anwendungsszenarien für MAS sind sehr weitreichend und umfassen zum Beispiel logistische Planungs- und Entscheidungsprobleme, die Informationslogistik sowie das Geschäftsprozessmanagement in den Unternehmen. Die folgende Auswahl zeigt exemplarisch einige Anwendungsbereiche:¹⁸¹

- MAS im Bereich der Transportlogistik zur Fahrzeugeinsatzplanung,¹⁸²
- MAS im Bereich der Lagerlogistik zur Einsatzplanung von Staplerfahrzeugen,¹⁸³

¹⁷⁵ Vgl. Ow et al. 1988.

¹⁷⁶ Vgl. Hynynen 1989.

¹⁷⁷ Vgl. Weigelt 1994.

¹⁷⁸ Vgl. Maturana et al. 1999.

¹⁷⁹ Contract Net Protocol ist ein Protokoll in der Informatik für die verteilte Problemlösung und Kommunikation in Netzwerken. Vgl. hierzu Smith 1980.

¹⁸⁰ Vgl. Zelewski 1998a, S. 316 und Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 424-427.

¹⁸¹ Vgl. Fischer 2004, S. 112-123.

¹⁸² Vgl. Falk 1995 und Fischer et al. 1995.

¹⁸³ Vgl. Müller et al. 1995.

- MAS zur Unterstützung der Geschäftsprozesse über mehrere kooperierende Unternehmensteile und Abteilungen,¹⁸⁴
- MAS zur Gestaltung überbetrieblicher Kooperationen und Vernetzungen im Bereich Mass-Customization.¹⁸⁵

Der Einsatz von MAS ist nicht auf bestimmte Branchen fixiert, sondern kann branchenunabhängig wie beispielsweise in der Energiewirtschaft,¹⁸⁶ dem Gesundheitswesens in der Krankenhauslogistik¹⁸⁷ sowie der Finanzmarktsimulation¹⁸⁸ erfolgen. Ein wichtiges Einsatzgebiet sind unternehmensübergreifende MAS wie zum Beispiel für die Unterstützung kooperierender Transportunternehmen und insbesondere diejenigen, die für den Einsatz im Bereich des Supply Chain Management geeignet sind.¹⁸⁹ In der Literatur existiert eine Vielzahl von Arbeiten, die sich mit dem Einsatz von MAS im Bereich des Supply Chain Management auseinandergesetzt haben.¹⁹⁰

Ein weiterer bedeutender Ansatz ist die Entwicklung von agentenbasierten Dispositions- und Entscheidungssystemen im Rahmen von Produktions- und Logistikprozessen, welche die Aspekte künstliche Intelligenz, Supply Chain Management und dynamische Dispositionsentscheidungen integrieren. Eine Aufzählung einiger Arbeiten gibt einen Einblick in die Thematik und bildet den Ausgangspunkt für die weiteren Ausführungen:

- Agentenbasiertes Scheduling und Rescheduling in Produktions-Transport-Netzwerken,¹⁹¹
- Agent-based Dynamic Scheduling for Distributed Manufacturing,¹⁹²
- Distributed Manufacturing Scheduling using Intelligent Agents,¹⁹³

¹⁸⁴ Vgl. Jennings et al. 1998 und Norman et al. 1997.

¹⁸⁵ Vgl. Turowski 1999 und Timm et al. 2001.

¹⁸⁶ Vgl. Veit et al. 2004 und Gnansounou et al. 2007.

¹⁸⁷ Vgl. Paulussen et al. 2003 und Kirn et al. 2001.

¹⁸⁸ Vgl. Heun 2007.

¹⁸⁹ Vgl. Fischer 2004, S. 114 und Sandholm 1993.

¹⁹⁰ Vgl. hierzu beispielsweise Dangelmaier et al. 2002; Moyaux et al. 2006; Frey et al. 2003; Mitkas/Nikolaidou 2008 oder Jiao et al. 2006.

¹⁹¹ Vgl. Beyer/Becher 2008.

¹⁹² Vgl. Shen/Hao 2007.

¹⁹³ Vgl. Shen 2002.

-
- Agent-Based Modeling of Supply Chains for Distributed Scheduling,¹⁹⁴
 - A Multi-Agent Decision Support System for Supply Chain Management.¹⁹⁵

3.4 Auswahl einer Methode zur Anwendung in der Sekundärrohstofflogistik

In den Ausführungen wurde bereits verdeutlicht, dass die Sekundärrohstofflogistik durch systemimmanente Eigenschaften geprägt ist. Zusammenfassend werden diese noch einmal aufgeführt:

- fehlende Konstanz der Rückstandsströme,
- schwer prognostizierbare Rückstandsflüsse,
- zeitliche, mengen- und qualitätsmäßige Unsicherheit der Rückstandsarten.

Die Unsicherheiten im Bereich der Rückstandsversorgung führen in Verbindung mit marktdynamischen Bewegungen im Bereich der Rohstoffversorgung, flexiblen Produktions- und Fertigungsstrukturen und stochastischen Materialströmen zu dynamischen Umfeldbedingungen. Diese erfordern kurze, dynamische Dispositionszyklen und die Möglichkeit zur Nachdisposition.

Das Produktionsgeschehen in dynamischen Umgebungen wird durch plötzlich eintretende und unvorhergesehene Ereignisse – Maschinenstillstände, Kapazitätsengpässe oder Fehllieferungen – zusätzlich beeinflusst. Die Dispositionspläne statischer Dispositionssysteme werden daher schnell hinfällig und müssen neu aufgestellt werden. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, auf dynamische Dispositionssysteme umzustellen. Abschnitt 3.3.1 zeigte Aspekte der dynamischen Disposition und Techniken auf, die eine Terminierung und Aufteilung von Aufträgen und Ressourcen in dynamischen Umgebungen ermöglichen.

¹⁹⁴ Vgl. Lau et al. 2006.

¹⁹⁵ Vgl. Kovalchuk 2009.

Für die Realisierung eines reaktiven und dynamischen Produktionssystems sind echtzeitnahe Informationen notwendig. MAS können diese Informationen – räumlich verteilt – im System aufnehmen und für eine dynamische Disposition verarbeiten und bereitstellen. In der Disposition der rückführenden Logistik und der Produktion von Sekundärrohstoffen sind MAS daher gut geeignet.

In einem dezentral organisierten, autonomen oder Mediator MAS, können für die verschiedenen Bereiche des Gesamtssystems der Sekundärrohstofflogistik Redistributions-, Aufarbeitungs- und Aufbereitungs- sowie Wiedereinsatzagenten zum Einsatz kommen. Der Ansatz und die Idee in dieser Arbeit sind die Ausstattung der Agenten mit verschiedenen Dispositionstechniken und die Kombination der Techniken im Agentennetzwerk miteinander. In Verbindung mit dem intelligenten Verhalten der Agenten können die komplexen Dispositionsprobleme in diesem Bereich der rückführenden Logistik gelöst werden.

3.5 Zwischenfazit

Die Disposition ist ein wichtiger Bestandteil in Produktions- und Fertigungssystemen. Sie ist verantwortlich für die optimale Verteilung von Produktionsaufträgen auf die verfügbaren Ressourcen. Die Charakterisierung der Disposition und die Einordnung in die Aufbau- und Ablauforganisation eines Unternehmens wurden zu Beginn des Kapitels aufgezeigt. Die veränderten Anforderungen auf den Märkten, die sowohl angebotsseitig als auch nachfrageseitig wirken, und die dadurch angepassten Produktions- und Fertigungsstrukturen verdeutlichen den Trend zu dynamischen Umfeldbedingungen für die Unternehmen. Besonders die unvorhergesehenen und stochastischen Materialflüsse im Bereich der rückführenden Logistik sind für die Anwendung dynamischer Dispositionstechniken im Produktionsprozess ausschlaggebend. Für die zieladäquate Lösung von dynamischen Dispositionsproblemen sind MAS ein geeignetes Instrument. Durch ihre dezentrale Struktur und die Verteilung von intelligenten Agenten im System, können sie in der Sekundärrohstofflogistik Anwendung finden. Die Kombination von MAS mit dynamischen Dispositionstechniken kann eine kunden- und bedarfsgerechte Produktion von Sekundärrohstoffen gewährleisten.

4 Entwurf einer netzwerkbasierten Steuerung durch dynamische Disposition

Im vierten Kapitel erfolgen die Erarbeitung und Beschreibung einer netzwerk-basierten Steuerung durch dynamische Disposition im Bereich der rückführen-den Logistik, welches mit Hilfe eines MAS unterstützt wird. Zu Beginn werden die Zielstellung und das Vorgehen erläutert und im Anschluss die Forschungs-relevanz und die Notwendigkeit einer netzwerkbasierten Steuerung und Koor-dination im Bereich der rückführenden Logistik dargestellt. Darauf aufbauend wird die logistische Netzbildung in der Sekundärrohstofflogistik und als wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit die multiagentenbasierte dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik erörtert. Abschließend wird mit Hilfe verschiedener Dispositionsalgorithmen und -verfahren und einer Verteilung auf selektive MAS für die Bearbeitung von Aufträgen und Ressourcen zur Lösung komplexer dynamischer Dispositionsprobleme gezeigt.

4.1 Zielstellung und Vorgehen

Das Kapitel intendiert die konsequente Orientierung und Übertragung logisti-scher und produktionswirtschaftlicher Ziele und Kennzahlen auf das System der Rückführungslogistik.¹⁹⁷ Unter der Berücksichtigung veränderter Umfeld-bedingungen und Materialeinsatzfaktoren wie beispielsweise der Verknappung von Rohstoffen, stochastischen Materialströmen oder qualitativen und quanti-tativen Materialunsicherheiten sind unter anderem folgende logistische Teilzie-le zu erreichen:¹⁹⁸

- günstige Einstandspreise und kostengünstige Versorgung,
- Minimierung der Herstellkosten und des Produkt- beziehungsweise Produktionsaufwandes,
- Minimierung der Durchlaufzeiten und Bestände,
- Maximierung von Qualität und Lieferservice und die Einhaltung von Terminen.

¹⁹⁷ Vgl. hierzu Abschnitt 2.1, Abschnitt 2.3.2 oder Abschnitt 3.1.

¹⁹⁸ Vgl. Jünemann 1989, S. 23 und Schulte 2001, S. 22-35.

Gemäß der Ablauforganisation der Produktion kann zwischen Gruppen-, Werkstatt- und Fließfertigung unterschieden werden. Die Organisationsform der Gruppenfertigung hat einen objektorientierten Charakter für einzelne Bauteile und -gruppen oder Produkte und Produktgruppen. Sie ist für große, sperrige und schwere Werkstücke und Erzeugnisse geeignet. Die Werkstattfertigung hingegen ist nach dem Verrichtungsprinzip organisiert, wobei die räumliche Konzentration in Werkstätten für die einzelnen Verrichtungen der Sekundärrohstoffproduktion – Demontage, Separierung, Schadstoffentfrachtung oder Reinigung – geeignet ist. Die Gruppen- und die Werkstattfertigung sind für geringe Outputmengen konzipiert.

Die Fließfertigung ordnet Arbeitsstationen nach der Prozessfolge an. In Abhängigkeit von den zu behandelnden Rückständen kann eine Produktion von Sekundärrohstoffen an den nacheinander angeordneten Arbeitsstationen im Fließprinzip Anwendung finden. Da die Fließfertigung im Rahmen einer Massenproduktion einen großen Materialausstoß erzeugt, ist sie für die Problemstellung in dieser Arbeit die bevorzugte Organisationsform. Für die Behandlung verschiedenartiger Produkte beziehungsweise Rückstände zur Erzeugung von Sekundärrohstoffen, darf die Werkstattfertigung im Bereich der Rückführungslogistik jedoch nicht unberücksichtigt bleiben. Die Vorzüge der beiden Fertigungsprinzipien müssen bei dem Entwurf des Systems abgewogen werden und in die Auswahl für einen Lösungsvorschlag einfließen.¹⁹⁹ Die folgenden produktionswirtschaftlichen Vorteile der Fließfertigung können im Rahmen einer Auswahlmöglichkeit auf das System der Rückführungslogistik übertragen werden:²⁰⁰

- hohe Produktionsgeschwindigkeit durch Arbeitsteilung und Spezialisierung,
- hoher Anteil produktiver Zeiten,
- geringe Rüstzeiten,
- geringer Zeitbedarf für den innerbetrieblichen Transport,
- Senkung der Kapitalbindung im Umlaufvermögen durch geringe Bestände und niedrige Durchlaufzeiten,

¹⁹⁹ Vgl. Adam 1998, S. 16-21 und Corsten/Gössinger 2009, S. 28-38.

²⁰⁰ Vgl. Adam 1998, S. 18-19.

-
- geringer Raumbedarf durch reduzierte Verkehrsflächen,
 - vereinfachte Planung, Steuerung und Kontrolle der Produktion,
 - Stabilität der Produktionsprozesse.

Die Vorteile der Werkstattfertigung die für die Auswahl in diesem Prozess ausschlaggebend sind, sind folgende:²⁰¹

- hohe technische Elastizitäten der Maschinen,
 - leichte Umstellung der Produktion auf neue Produkte,
 - kurzfristige Einrichtung oder Stilllegung von Arbeitsplätzen,
 - flexible Kapazitäten durch flexiblen Personaleinsatz,
 - Maschinenstörungen oder Wartungen wirken nur auf die einzelnen Arbeitsplätze, komplette Produktionsausfälle werden verhindert,
- geringer Kapitalbedarf für Produktionsanlagen, aber dafür erhöhte Kapitalbindung im Umlaufvermögen.

Die Auswahl oder Eignung eines Fertigungsprinzips für die rückführende Logistik wird anhand eines Beispiels dargestellt. In Abbildung 10 werden die Anforderungen oder Kriterien in der rückführenden Logistik gezeigt. Die Erfüllung der Anforderungen ergibt ein Eignungsprofil, womit im Ergebnis ein Fertigungsprinzip ausgewählt werden kann.²⁰²

²⁰¹ Vgl. Adam 1998, S. 19.

²⁰² Vgl. hierzu in Anlehnung an Mieke 2006, S. 119.

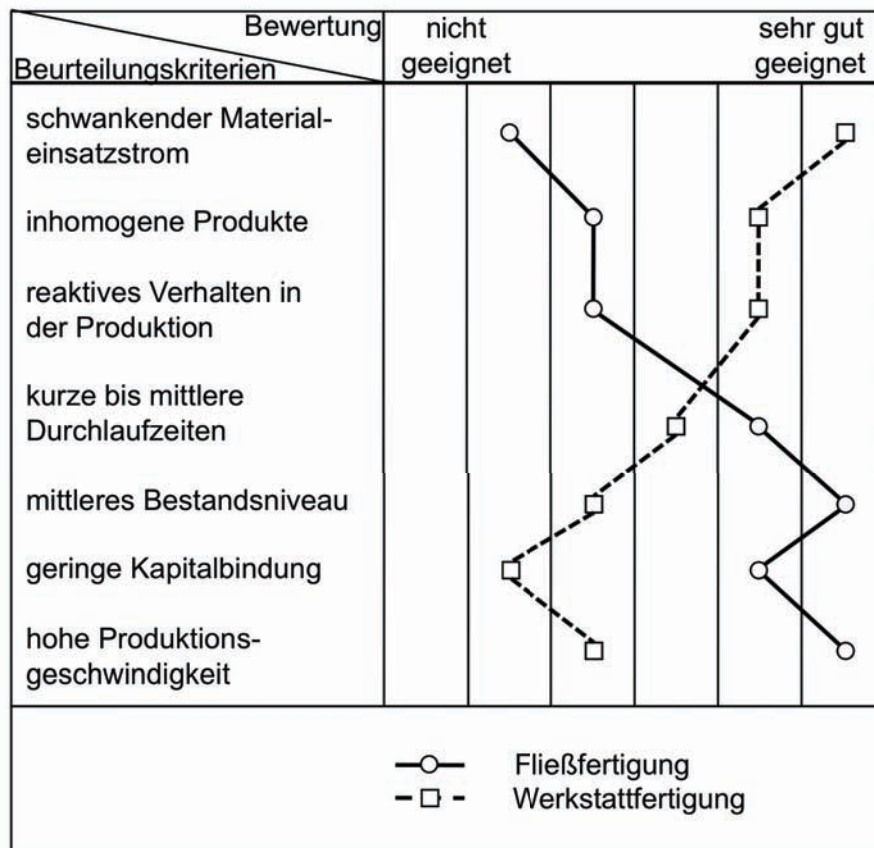


Abbildung 10: Eignungsprofil der Fließ- und Werkstattfertigung für die rückführende Logistik (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Mieke 2006, S. 119)

Es ist zu erkennen, dass die Vor- und Nachteile der Fließ- und Werkstattfertigung in Bezug auf die Anforderungen in der rückführenden Logistik relativ ausgeglichen sind. Der entscheidende Faktor für die Auswahl oder Eignung eines Fertigungsprinzips sind die Kriterien, die in der jeweiligen Situation bei der rückführenden Logistik gelten. Mit Hilfe eines Eignungsprofils kann dann das besser geeignete Fertigungsprinzip ausgewählt werden.

Ein weiteres Ziel dieses Kapitels ist, die Verbindung der Logistik- und Produktionssysteme der Unternehmen im Bereich der rückführenden Logistik zu beschreiben und unter Einsatz eines unternehmensübergreifenden MAS zu integrieren.

Die Logistiksysteme der Unternehmen setzen sich aus verschiedenen Subsystemen zusammen und dienen dem Transfer sämtlicher Eingangs- und Aus-

gangsfaktoren über die gesamte Lieferkette hinweg.²⁰³ Abbildung 11 veranschaulicht ein Logistiksystem mit seinen Subsystemen.

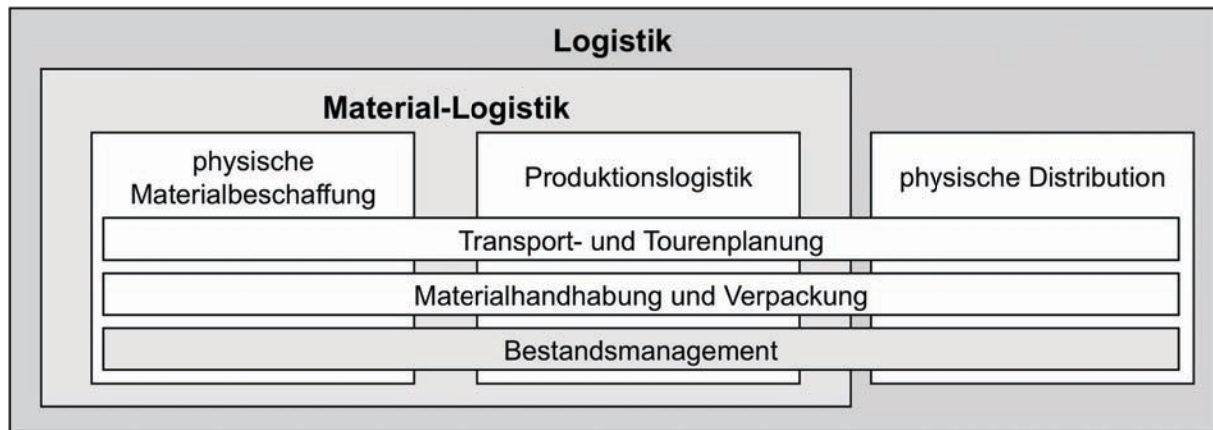


Abbildung 11: Subsysteme des Logistiksystems eines Unternehmens (Quelle: Tempelmeier 2006, S. 2)

Die Produktionssysteme und der industrielle Produktionsprozess der Unternehmen lassen sich durch das Input-Output-Modell charakterisieren, welches in Abbildung 12 dargestellt ist. Der Produktionsprozess wird dabei als Transformations- und Kombinationsprozess von eingehenden Gütern und Produktionsfaktoren zu ausgehenden Gütern für den Absatzmarkt verstanden.²⁰⁴

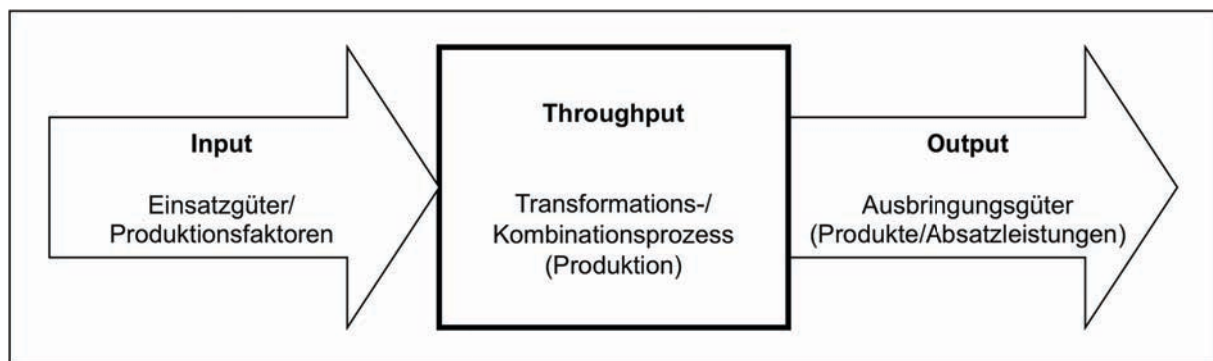


Abbildung 12: Struktur des Produktionssystems (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Vahrenkamp 2008, S. 1)

²⁰³ Vgl. Tempelmeier 2006, S. 1-2.

²⁰⁴ Vgl. Vahrenkamp 2008, S. 1; Günther/Tempelmeier 2007, S. 7-8 und Corsten/Gössinger 2009, S. 4.

Nach der separaten Darstellung erfolgt im nächsten Schritt die Verbindung der Logistik- und Produktionssysteme der Unternehmen zu einem betrieblichen Gesamtsystem, das Abbildung 13 zeigt.

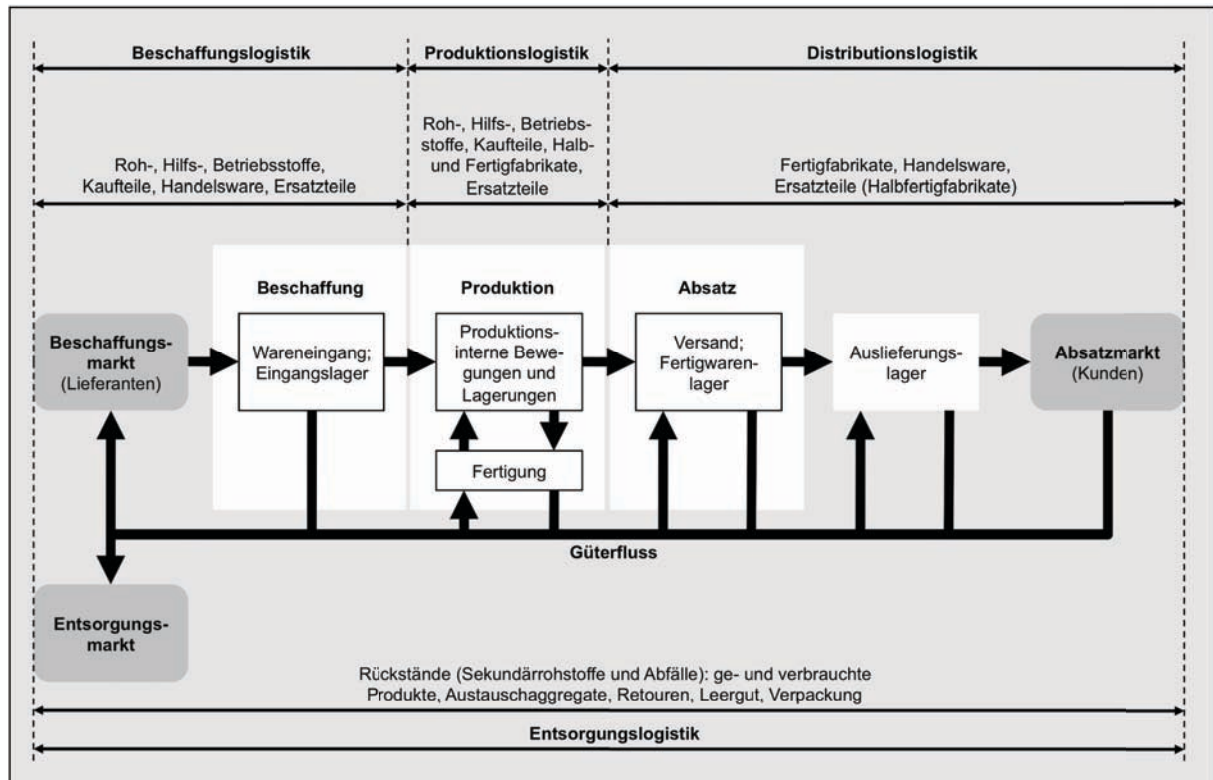


Abbildung 13: Betriebliches Gesamtsystem der Unternehmen (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Weber/Kummer 1998, S. 8 und Pfohl 2010, S. 19)

Die Integration der betrieblichen Gesamtsysteme der Unternehmen im Bereich der rückführenden Logistik in ein unternehmensübergreifendes MAS ist der nächste Schritt. Die dunklen Rechtecke in Abbildung 14 stellen die menschlichen und Softwareagenten der Unternehmen dar. Mit Hilfe der Verbindungslinien soll die Vernetzung der Agenten zu einem MAS symbolisiert werden.

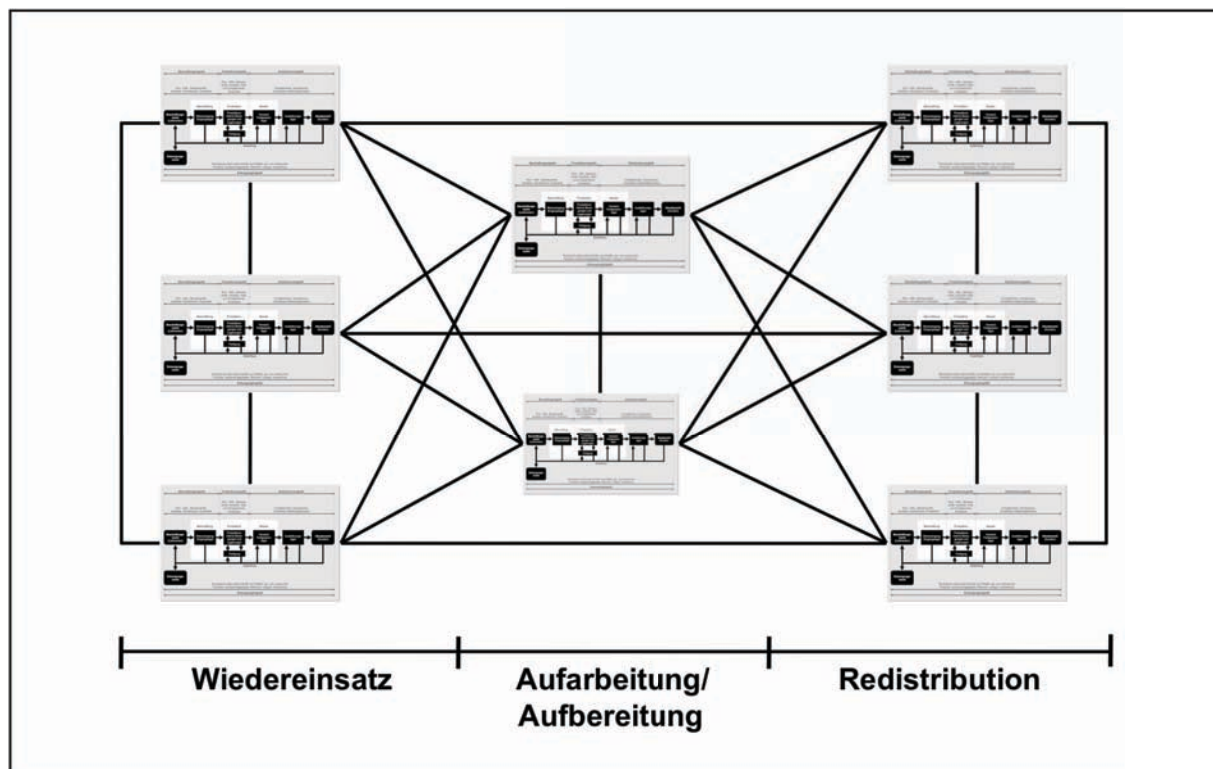


Abbildung 14: Beispiel MAS im Bereich der rückführenden Logistik

Das Kapitel umfasst die folgenden Arbeitsschritte zur Auslegung des Vorgehensmodells. Zunächst wird der Bedarf für einen Forschungsansatz und die Relevanz der Thematik aufgezeigt. Im weiteren Verlauf wird die Notwendigkeit der koordinierten Zusammenarbeit innerhalb eines Netzwerks der Rückführungslogistik dargestellt. Der grundlegende Prozess der logistischen Netzwerkbildung wird anschließend in einem theoretischen Exkurs behandelt und mit einem Beispiel zur Netzwerkmodellierung in der Sekundärrohstofflogistik unterlegt.

Im nächsten Schritt wird der Anpassungsbedarf für die Disposition in der Sekundärrohstofflogistik beschrieben. Der Fokus des Kapitels liegt in der Erarbeitung und Beschreibung eines multiagentenbasierten Systems für die dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik, wobei auch die Durchführung der dynamischen Disposition betrachtet wird.

Im Weiteren wird die Anwendbarkeit und Relevanz der Multiagentensteuerung erörtert, auf verschiedene Recyclingmodelle innerhalb der Sekundärrohstofflo-

gistik eingegangen. Ein wichtiger Bestandteil des Kapitels ist die Entwicklung der selektiven MAS-Steuerung. Dafür werden Kriterien für die Auswahl selektiver MAS erörtert und die Nachfrage- und Kapazitätssteuerung in selektiven MAS beispielhaft beschrieben. Abschließend erfolgt die Hinterlegung der Ergebnisse für das Vorgehen. Abbildung 15 stellt das Vorgehen in Kapitel 4 modellartig dar.

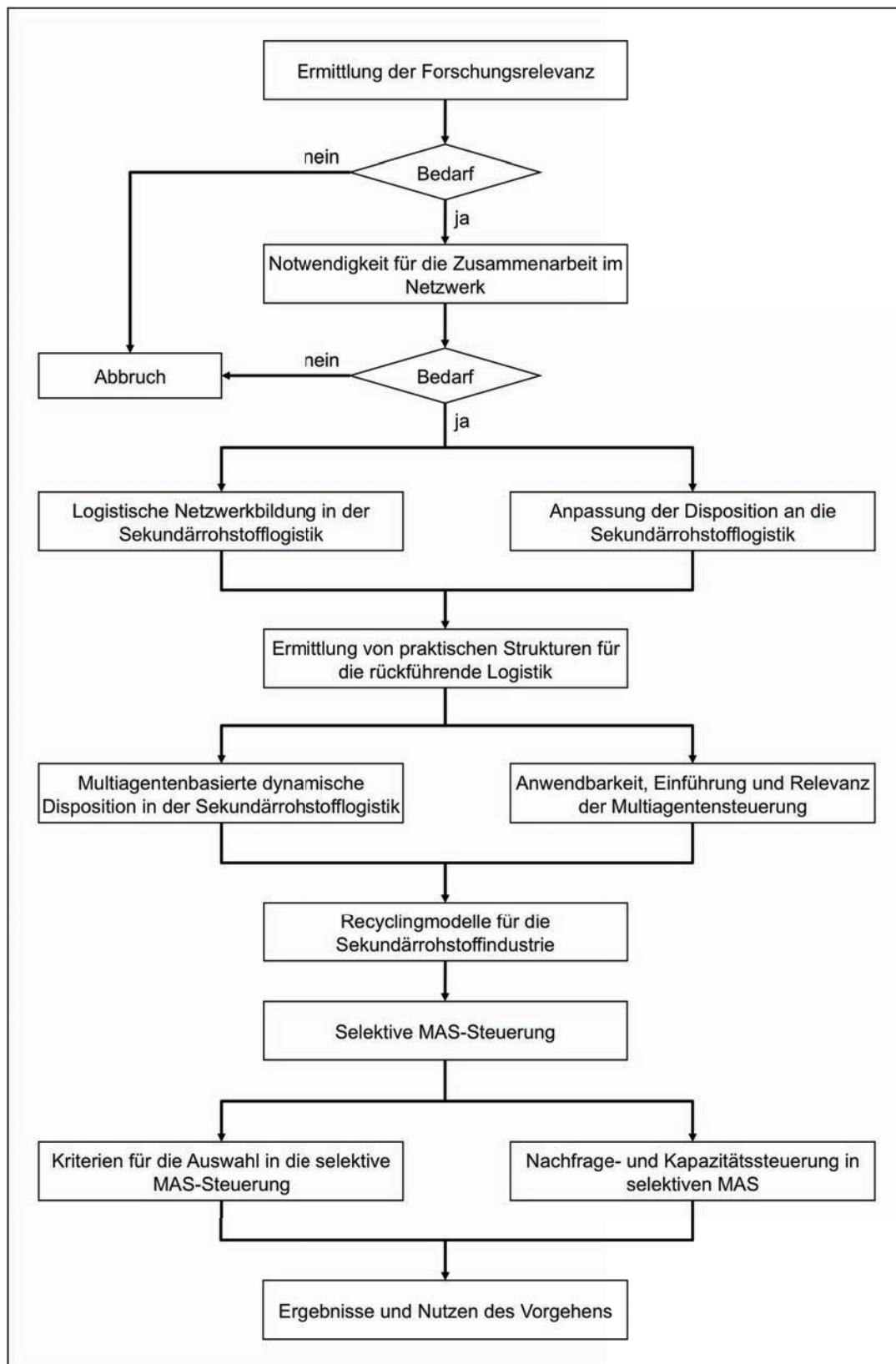


Abbildung 15: Vorgehensmodell für die Entwicklung eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems in der Sekundärrohstofflogistik

4.2 Forschungsrelevanz

Eine umfangreiche Literaturrecherche hat aufgrund des Veröffentlichungsverhaltens zur Reverse Logistics Themen ein steigendes Interesse beziehungsweise ein Bedarf an der Generierung von Forschungsergebnissen ergeben. Ein Auszug dieser Recherche zeigt Abbildung 16 mit einem Überblick zu der Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Reverse Logistics.²⁰⁵

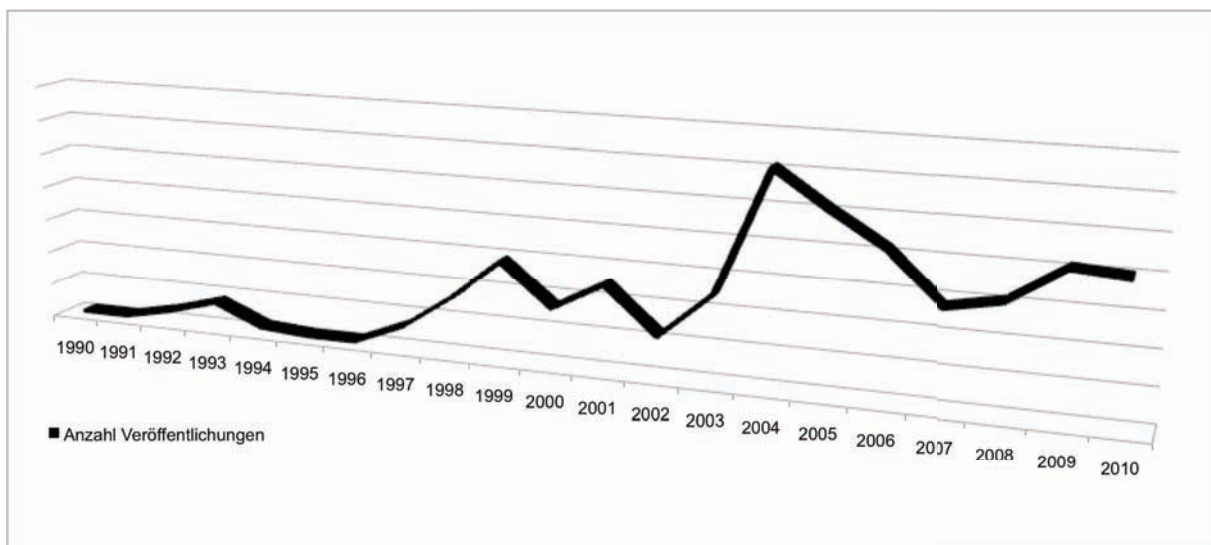


Abbildung 16: Wissenschaftliche Veröffentlichungen zur Reverse Logistics

In der Abbildung ist zu erkennen, dass das Forschungsinteresse ab dem Jahr 1997 anhand der gemessenen Anzahl der Veröffentlichungen gestiegen ist. Einen Höhepunkt erreichte das Veröffentlichungsverhalten im Bereich der Reverse Logistics im Jahr 2004 und hat im weiteren Zeitverlauf nicht wesentlich an Relevanz verloren.

²⁰⁵ Die Ergebnisse der Literaturanalyse basieren auf wissenschaftlichen Veröffentlichungen, die im Karlsruher Virtuellen Katalog (KVK) gelistet sind. Der KVK ist ein Meta-Katalog von Büchern und Zeitschriften die in den weltweiten Bibliotheks- und Buchhandelskatalogen enthalten sind. Vgl. <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/kvk.html>. In der Recherche wurden 444 Veröffentlichungen aus den Jahren 1990 bis 2010 mit dem Begriff Reverse Logistics aus dem deutsch- (Deutschland, Österreich und Schweiz) und englischsprachigen (USA, Kanada und Großbritannien) Raum erfasst. Rechercheergebnisse mit verwandten Begriffen wie Rückführungslogistik oder Sekundärrohstofflogistik können aufgrund der geringen Anzahl an Veröffentlichungen vernachlässigt werden. Wiederholte Listungen wurden nicht berücksichtigt. Stand 01.03.2011.

Das Forschungsfeld der Reverse Logistics ist facettenreich und erstreckt sich von der klassischen Tourenplanung über die Produktionsplanung und -kontrolle bis hin zur Closed-Loop Supply Chain Koordination. Einzelne Autoren gehen davon aus, dass die Netzwerkplanung und -gestaltung im Bereich der Reverse Logistics ein Schlüsselbereich ist. Reverse Logistics-Netzwerke sind aufgrund der Anforderungen in der Netzwerkgestaltung komplexer als traditionelle Logistiknetzwerke und benötigen daher einen erhöhten Forschungsaufwand. *Chanintrakul et al.* haben in ihrem State-of-the-Art-Beitrag aus dem Jahr 2009 die Bedeutung des Reverse Logistics-Netzwerkdesigns herausgearbeitet und Forschungsgebiete dieses Feldes identifiziert.²⁰⁶

- Aspekte der Unsicherheit,
- Stochastische Modellierung,
- Aspekte des Transports,
- Multiagentencharakter,
- Systemkonfiguration und Abläufe für gefährliche Abfälle,
- Simulationsmodelle.

Die Analyse des Multiagentencharakters von Reverse Logistics-Netzwerken war aufgrund der zunehmenden Informationstechnologisierung von besonderem Interesse. Dabei ist zu erkennen, dass das Forschungsgebiet zum Multiagentencharakter von Reverse Logistics-Netzwerken wissenschaftlich noch nicht hinreichend bearbeitet wurde. *Chanintrakul et al.* haben drei Arbeiten genannt, die den Multiagentencharakter in Reverse Logistics Netzwerken betrachten.²⁰⁷

Nagurney und Toyasaki beschreiben den Multiagentencharakter eines Recyclingnetzwerkes für Elektronikschrott und stellen das Verhalten der verschiedenen Entscheidungsträger im Netzwerk dar. Sie entwickeln dabei ein Modell für ein mehrschichtiges Recyclingnetzwerk und analysieren die Gleichverteilung von Materialströmen anhand der Preisgestaltung für Alt- und Recyclinggüter der einzelnen Akteure im Netzwerk.²⁰⁸

²⁰⁶ Vgl. Chanintrakul 2009, S. 61-64.

²⁰⁷ Vgl. Chanintrakul 2009, S. 66-73.

²⁰⁸ Vgl. Nagurney/Toyasaki 2005, S. 1-3.

Chen et al. untersuchen ebenfalls ein agentenbasiertes Recyclingnetzwerk und modellieren einen Algorithmus, der die Materialströme von den verschiedenen Rückstandsquellen zu den Absatzmärkten in Abhängigkeit von Nachfrage- und Kostenfunktionen in einen Gleichgewichtszustand bringt. Der Algorithmus wird in einem Testfall erprobt und in ein Modell zur Verkehrsverteilung überführt.²⁰⁹

Hammond und *Beullens* präsentieren ein Netzwerkmodell im Rahmen der erweiterten Produktverantwortung der Produzenten und des Closed-Loop Supply Chain Managements. Das Modell besteht aus zwei Ebenen, die durch die Produzenten und Konsumenten repräsentiert werden. Die Autoren integrieren in ihre Arbeit das Cournot-Modell,²¹⁰ mit dem ein Gleichgewicht zwischen angebotenen Mengen und den dazu verlangten Preisen hergestellt werden soll.²¹¹

4.3 Entwicklungsbedarf für eine netzwerkbasierte Steuerung und Koordination in rückführungslogistischen Systemen

Der Entwicklungsbedarf für eine netzwerkbasierte Steuerung und die Koordination von Aktivitäten in rückführungslogistischen Systemen sind inhaltsbegründet. Ein wesentlicher Punkt ist das gestiegene Rückstandsaufkommen, wodurch der Bereich der Entsorgung und Rückführung an Bedeutung gewonnen hat. Kurze Produktlebenszyklen sowie hohe Konsumraten und Ausstattungsgrade der Haushalte fördern diese Entwicklung. Das wachsende und zu behandelnde Rückstandsaufkommen führte dazu, dass auf nationaler und europäischer Ebene Verordnungen und Gesetze erlassen wurden. Diese übertragen beispielsweise die Verantwortung für die Verwertung oder ordnungsgemäße Entsorgung ausgedienter Produkte zurück an die Hersteller. Diese Hersteller müssen mit ihren vorhandenen oder zu erwerbenden Verwertungs- und Entsorgungskompetenzen dafür Sorge tragen, verwertbare Rückstände in

²⁰⁹ Vgl. Chen et al. 2007, S. 218-221.

²¹⁰ Vgl. Wiese 2010, S. 374-381.

²¹¹ Vgl. Hammond/Beullens 2007, S. 895-896.

den Produktkreislauf zurückzuführen oder unverwertbare Materialien zu entsorgen.

Für die Bewältigung der steigenden Rückstandsmengen beziehungsweise aufgrund noch fehlender Kompetenzen nutzen die Hersteller die Möglichkeit, Recyclingdienstleister für ihre Pflichten und zu ihren Diensten zu beauftragen. Die Bearbeitung der durch die Hersteller ausgeschriebenen und vergebenen Entsorgungs- und Verwertungsaufträge erfolgen nicht mehr nur auf lokaler oder kommunaler Ebene, sondern sie erhalten eine europaweite und internationale Dimension.²¹² Aufgrund gemeinsamer Interessen und Ziele, räumlicher Entfernungen oder gegenseitiger Abhängigkeiten ist es für die Unternehmen sinnvoll, gemeinsam in einem Netzwerkverbund zusammenzuarbeiten.²¹³

Des Weiteren muss der Aspekt der Unregelmäßigkeiten und Unsicherheiten der Rückstandsströme bewältigt werden. Um die Auswirkungen auf die Produktionssysteme zu minimieren, ist eine intensive Zusammenarbeit der beteiligten Akteure im Netzwerk anzustreben.²¹⁴

Die Kooperation im Netzwerk kann sich über die gesamte Kette der Rückführungslogistik erstrecken oder sich lediglich auf bestimmte Teilbereiche beziehen. Es ist möglich, dass sich die Hersteller von Sekundärrohstoffen in Verbünden zusammenschließen, wobei das Ziel die Zusammenführung der zurücklaufenden und durch die beteiligten Unternehmen zu behandelnden Altprodukte und Reststoffe ist. Es soll eine kostengünstige Umsetzung des Recyclings erreicht werden. Eine weitere Variante sind partielle Bündnisse zwischen Recyclingdienstleistern. Sie organisieren sich in einem Netzwerk und treten OEM als eine einheitliche Koalition gegenüber. Der Systemverbund der Recyclingdienstleister bietet den OEM eine komplette Übernahme der gesamten Verwertungs- und Entsorgungspflichten an und kann dadurch ebenfalls Kosten- und Preisvorteile erzielen.

²¹² Vgl. Schmid 2009, S. 5-7.

²¹³ Vgl. Sydow 1992, S. 1-6 und Sydow/Möllering 2009, S. 16-19.

²¹⁴ Vgl. Specht/Braunisch 2009, S. 242; Steven et al. 2003a, S. 646 und Steven 2004, S. 166-171.

Die durchzuführenden Aufträge in einem Netzwerk müssen zwischen den beteiligten Unternehmen entsprechend ihrer Kompetenzen und Zuständigkeiten effizient aufgeteilt werden. Dazu bietet sich eine zentralistische Allokation der Aufträge durch ein fokales Unternehmen im Netzwerk an. Es hat die Möglichkeit, in Datenbanken oder Softwaresystemen hinterlegte Preise oder andere Informationen der Recyclingdienstleister abzufragen, so dass die Aufträge auf den jeweils günstigsten Anbieter verteilt werden. Dies kann jedoch dazu führen, dass bei der Allokation bestimmte Recyclingfähigkeiten der Dienstleister nicht erkannt oder ausgenutzt werden und letztlich suboptimale Lösungen im gesamten Netzwerk entstehen.

Da die beteiligten Unternehmen im Netzwerk dennoch über eigenständige und selbstplanerische Strukturen verfügen, erscheint eine zentrale Planung nicht geeignet. Unter Berücksichtigung der Autonomie der einzelnen Netzwerkpartner ist ein Koordinationsmechanismus für die Allokation der Aufträge notwendig, um eine höhere Ergebnismenge im Netzwerk zu erreichen.²¹⁵ Im dem folgenden Exkurs werden die Aspekte Netzwerk und Koordination ausführlicher betrachtet.

4.4 Exkurs: Logistische Netzbildung

4.4.1 Netzbildungsforschung

4.4.1.1 Netzbildungstheorie

Die Netzbildungstheorie beschreibt Grundelemente der Entstehung und Funktionsweise von Unternehmens- aber auch von Logistiknetzwerken. Sie betrachtet Unternehmensnetzwerke als eine Organisationsform und bietet ein Beschreibungsmodell für die Gestaltung von Netzbildungsunternehmen.²¹⁶

Unternehmensnetzwerke konstituieren eine Zusammenarbeit von Unternehmen mit einer bestimmten Zielstellung. Eine Definition, die diesen Terminus exakter erfasst und in der Literatur vielfach Verwendung findet, stammt von Sydow. „Ein Unternehmensnetzwerk stellt eine auf die Realisierung von Wett-

²¹⁵ Vgl. Schmid 2009, S. 6-9 und 30. Vgl. hierzu auch Walther/Spengler 2004; Walther 2005; Hallmann 2007 und Stadler 2009.

²¹⁶ Vgl. Butz/Straube 2008, S. 68; Sydow 1992, S. 125-126 und Stegbauer 2010, S. 11-19.

bewerbsvorteilen zielende Organisationsform ökonomischer Aktivitäten dar, die sich durch komplex-reziproke, eher kooperative denn kompetitive und relativ stabile Beziehungen zwischen rechtlich selbständigen, wirtschaftlich zumeist unabhängigen Unternehmungen auszeichnet.“²¹⁷

Kleine und mittlere Unternehmen können Wettbewerbsvorteile aufgrund der zunehmend globalisierten Märkte und Komplexität der Produkte nur noch schwer erreichen. Ihnen fehlt zumeist das notwendige Know-how, Innovationsfähigkeit, Finanzkraft oder die globale Präsenz. Ein Ausweg aus dieser Situation ist die Konzentration auf die jeweiligen Kernkompetenzen der Unternehmen. Diese sind dann in einem Netzwerk derart zusammenzuführen, dass im Ergebnis durch kooperative Zusammenarbeit eine sinnvolle und ganzheitliche Leistungserstellung möglich ist. Somit nimmt jedes Unternehmen im Netzwerk die Funktion wahr, die sie gegenüber den anderen Unternehmen am besten beherrschen. Netzwerke bieten damit die Möglichkeit als wettbewerbsfähige Einheit aufzutreten.²¹⁸

4.4.1.2 Netzwerktypologisierung

In der Literatur ist eine Vielzahl an Netzwerktypen zu finden. Die Typenbildung erfolgt in Abhängigkeit vom zur Typologisierung herangezogenen Merkmal. *Corsten* definiert beispielsweise:

- Netzwerkzusammenstellung,
- Koordinationsrichtung,
- Kooperationsrichtung sowie
- Stärke und Dauer der Wirkung

als mögliche Merkmale zur Bildung eines bestimmten Netzwerktypus.²¹⁹

Wittig hingegen legt für die Charakterisierung von Merkmalen oben genannte Definition zugrunde und grenzt zusätzlich folgende Dimensionen ab:²²⁰

²¹⁷ Wittig 2005, S. 26-27 und Sydow 1992, S. 79.

²¹⁸ Vgl. Wildemann 1996, S. 18-19 und Butz/Straube 2008, S. 70. Vgl. hierzu auch Specht/Kahmann 2000a oder Specht/Kahmann 2000b.

²¹⁹ Vgl. Corsten 2001, S. 5-7. Vgl. zur Netzwerktypologisierung auch Axelsson 1992, S. 242-246; Miles/Snow 1986, S. 62-73 oder Von Stengel 1999, S. 136-145.

- rechtliche Selbständigkeit und gewisse wirtschaftliche Abhängigkeit,
- kooperative Beziehungen,
- Erzielung von Wettbewerbsvorteilen.

Die gedankliche Verknüpfung der verschiedenen Merkmalsausprägungen lässt unterschiedliche Arten von Netzwerken entstehen. Eine in der Literatur oft anzutreffende, idealtypische Klassifizierung ist die Unterscheidung in strategische, operative und regionale Netzwerke sowie virtuelle Unternehmen.²²¹ Diese Differenzierung ist jedoch mit anderen Möglichkeiten der Netzwerkbildung nicht überschneidungsfrei. Zudem kann derselbe Netzwerktypus unterschiedliche Merkmalsausprägungen aufweisen. Beispielsweise kann ein strategisches Netzwerk stark oder weniger stark hierarchisch organisiert sein. Außerdem kann das häufig in strategischen Netzwerken vorhandene zentralistische Unternehmen auch in anderen Netzwerkarten die Wertschöpfung koordinieren. Tabelle 5 gibt einen Überblick der möglichen Netzwerktypen.

Netzwerktyp	Bestimmung über bzw. Symptome
Industrielle Netzwerke – Dienstleistungsnetzwerke	Sektorenzugehörigkeit der Unternehmen
Beschaffungs-, Produktions-, Marketing-, Logistiknetzwerke	Betriebliche Funktionen, die im Netzwerk kooperativ erfüllt werden
Konzerninterne – Konzernübergreifende Netzwerke	Konzernzugehörigkeit der meisten Unternehmen
Vertikale – Horizontale Netzwerke	Stellung der Unternehmen in der Wertschöpfungskette
Stabile – Dynamische Netzwerke	Stabilität der Mitgliedschaft bzw. der Netzwerkakteure
Hierarchische – Heterarchische Netzwerke	Steuerungsform nach der Form der Führung
Formale – Informale Netzwerke	Formalität bzw. Sichtbarkeit des Netzwerks
Offene – Geschlossene Netzwerke	Möglichkeit des Eintritts bzw. Austritts
Einfache – Komplexe Netzwerke	Zahl der Netzwerkakteure, Dichte des Netzwerks, Komplexitätsgrad des Beziehungsgeflechts

²²⁰ Vgl. Wittig 2005, S. 28.

²²¹ Vgl. Corsten 2001, S. 5-7 und Wittig 2005, S. 30.

Innovationsnetzwerke – Routinenetzwerke	Netzwerkzweck im Hinblick auf den Innovationsgrad
Soziale – Ökonomische Netzwerke	Dominanter Zweck der Netzwerkmitgliedschaft
Zentrale – Dezentrale Netzwerke	Grad der Polyzentralität

Tabelle 5: Typologie interorganisationaler Netzwerke (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Sydow 2010, S. 380)

Typische Netzwerkformen, die in der Praxis häufig auftreten, sind interne, stabile oder dynamische Netzwerke. Interne Netzwerke existieren auf Geschäftsbereichsebene innerhalb eines Unternehmens und dienen der Verbesserung der Innovations- und Leistungsfähigkeit. In stabilen Netzwerken tragen die beteiligten Unternehmen jeweils die verschiedenen erforderlichen Ressourcen zur Leistungserstellung bei. Durch die partielle Auslagerung von Prozessen kann die Flexibilität der Wertschöpfungskette im Netzwerk erhöht werden. Dynamische Netzwerke sind gekennzeichnet durch ein führendes Unternehmen, welches als Steuerungsinstanz und Koordinator agiert, wobei das Unternehmen über wenig ausgeprägte Ressourcen verfügt. Stattdessen identifiziert und kombiniert es die Ressourcen und Kernkompetenzen der Netzwerkpartner für die Erstellung einer neuen Marktleistung.²²²

4.4.1.3 Koordinationstheorie

Die Koordination im Netzwerk nimmt in der betriebswirtschaftlichen Literatur eine zentrale Rolle ein.²²³ Die Koordinationstheorie identifiziert und beschreibt Koordinationsprobleme und stellt für deren Lösungen Mechanismen bereit.²²⁴

Bei der Koordination handelt es sich „um eine wechselseitige Abstimmung einzelner Aktivitäten in einem arbeitsteiligen System auf ein übergeordnetes Gesamtziel.“²²⁵ Dabei verursacht die Arbeitsteilung in einem Netzwerk Abhängigkeiten zwischen den beteiligten Akteuren, welche gesteuert und aufeinander abgestimmt werden müssen. Die Koordinationstheorie stellt für den Um-

²²² Vgl. Butz/Straube 2008, S. 68-69.

²²³ Vgl. Corsten 2001, S. 11. Vgl. zur Koordinationsforschung auch Benkenstein 1987, S. 16-31; Frese 1989, S. 913-923 oder Kirsch/Meffert 1970, S. 20-24.

²²⁴ Vgl. Butz/Straube 2008, S. 69.

²²⁵ Corsten 2001, S. 11.

gang mit diesen Abhängigkeiten Richtlinien zur Verfügung, die immer dann erforderlich sind, wenn mindestens zwei Bereiche die gleichen Ressourcen, Produktionsmittel oder bestimmte Zwischenprodukte benötigen und nutzen wollen.²²⁶

Der Koordination obliegt die Aufgabe, „die durch Zerlegung einer Gesamtaufgabe entstandenen Teilaufgaben den unterschiedlichen Aufgabenträgern zuzuordnen und aufeinander abzustimmen.“²²⁷ Darüber hinaus sind die vertikale und die horizontale Koordination zu unterscheiden. Bei der vertikalen Koordination bilden übergeordnete Entscheidungen den Rahmen für nachgeordnete Entscheidungen, wobei die Voraussetzung dafür eine festgelegte Strukturierung der unterschiedlichen hierarchischen Ebenen im System ist. Bei der horizontalen Koordination findet eine Abstimmung zwischen den Abteilungen auf derselben hierarchischen Ebene statt, wofür wiederum eine entsprechende Segmentierung erforderlich ist.²²⁸

Die Logistik ist in zahlreichen Netzwerken die für die Koordination verantwortliche Leistungseinheit. Sie sorgt dafür, „dass sich die richtige Ressource [...] zum richtigen Zeitpunkt [...] am richtigen Ort befindet [...] und somit zum Konsum zur Verfügung steht.“²²⁹ In diesem Zusammenhang wurde der Begriff der Logistiknetzwerke formuliert.

4.4.1.4 Logistiknetzwerke

„Die Hauptaufgabe von Logistiknetzwerken liegt in der überbetrieblichen Organisation und Gestaltung von Waren- und Informationsflüssen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zwischen verschiedenen Standorten eines Unternehmensnetzwerks zum Zweck einer gemeinsamen kostenoptimalen Leistungserstellung.“²³⁰ Die Logistik kann in diesem Sinne als Kooperationsmechanismus angesehen werden

²²⁶ Vgl. Butz/Straube 2008, S. 69.

²²⁷ Corsten 2001, S. 11-12.

²²⁸ Vgl. Corsten 2001, S. 12.

²²⁹ Butz/Straube 2008, S. 69. Vgl. hierzu auch Malone et al. 1999, S. 429-431.

²³⁰ Butz/Straube 2008, S. 71.

Der Denkansatz des Logistiknetzwerks beruht auf dem Konzept der Flussorientierung und dem Systemdenken in Netzwerken. Dabei werden alle Material- und Informationsflüsse von den Quellen über sämtliche Zwischenknoten bis hin zu den Senken ganzheitlich und integrativ betrachtet.²³¹

In Logistiknetzwerken ist die Optimierung des Gesamtsystems hinsichtlich logistischer Ziele wie etwa die Verringerung der Durchlaufzeiten, Einhaltung niedriger Bestände, hohe Lieferfähigkeit und Termintreue sowie geringer Steuerungsaufwand der Materialflüsse von großer Bedeutung. Aufgrund der Komplexität der Materialflüsse im Netzwerk, müssen die Logistikziele in einer umfassenden und konsequenten Art und Weise umgesetzt werden, um eine Optimierung des Gesamtsystems zu erreichen. Die Flexibilität und Transparenz sowie die Versorgungs- und Lieferservices sollen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg erhöht werden, wodurch im Ergebnis die Logistikkosten im Netzwerk reduziert werden können.²³²

In Abhängigkeit von unternehmensinternen und -externen Betrachtungsperspektiven lassen sich Logistiknetzwerke in Intralog-, Extralog- und Interlog-Netze unterscheiden.

- Intralog-Netze sind innerbetriebliche Logistiknetzwerke einzelner Betriebsstätten eines Unternehmens.
- Extralog-Netze sind außerbetriebliche Logistiknetze zwischen den Betriebsstätten der am Netzwerk beteiligten Unternehmen.
- Interlog-Netze sind die Logistiknetze aller Unternehmen und Wirtschaftsteilnehmer.

Logistiknetzwerke sind komplexe Systeme, die aus Teil- und Subsystemen mit verschiedenen Funktionen bestehen. Das Interlog-Netz setzt sich aus den Logistiknetzwerken einzelner Unternehmen zusammen. Die Logistiknetzwerke der Einzelunternehmen setzen sich wiederum aus den Intralog- und Extralog-Netzen zusammen. Subsysteme des Intralog-Netzes sind beispielsweise die Lager-, Transport- oder Kommissioniersysteme. Teilsysteme des Extralog-

²³¹ Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld 2007, S. 5 und Butz/Straube 2008, S. 71.

²³² Vgl. Butz/Straube 2008, S. 71.

Netzes sind die Beschaffungs-, Distributions- oder Entsorgungssysteme der Unternehmen.²³³ Tabelle 6 zeigt zusammenfassend die Merkmale und Betreiber von Intralog-, Extralog- und Interlog-Netzen.

	Intralog	Extralog	Interlog
Merkmale			
Abgrenzung	Innerbetriebliches Logistiknetzwerk einer Betriebsstätte	Außerbetriebliches Logistiknetzwerk eines Unternehmens*	Unternehmensübergreifende Logistiknetzwerke mit vielen Teilnehmern
Anzahl der Betriebsstandorte	einer	mehrere	viele
Vernetzung	gering	mittel	hoch
Logistikketten	innerbetrieblich	zwischenbetrieblich	überbetrieblich
Quellen	Wareneingang Produktionsstellen	Lieferanten andere Betriebsstätten	Unternehmen* Haushalte****
Senken	Verbrauchsstellen Warenausgang	Kunden andere Betriebsstätten	Unternehmen* Haushalte****
Teilsysteme	Maschinensysteme Lagersysteme Kommissioniersysteme Förder- und Transportsysteme	Beschaffungssysteme Distributionssysteme Entsorgungssysteme Intramodale Transportsysteme	Intralog-Systeme Extralog-Systeme Verkehrssysteme Speditionssysteme
Betreiber			
Betriebsstätten	Unternehmen*	Dienstleister**	Dienstleister**
Betriebsmittel	Unternehmen*/ Dienstleister**	Unternehmen*/ Dienstleister**	Dienstleister**
Trassennetz	Unternehmen*	Verkehrsbetriebe***/ Staat	Verkehrsbetriebe***/ Staat
Transportmittel	Unternehmen*/ Dienstleister**	Unternehmen*/ Dienstleister**	Dienstleister**

* Unternehmen: Industrie- und Handelsunternehmen

** Dienstleister: Logistikdienstleister, Speditionen, Umschlagbetriebe usw.

*** Verkehrsbetriebe: Eisenbahnen, Schifffahrtsgesellschaften, Luftfahrtgesellschaften

**** Haushalte: Privathaushalte, Gastronomie, Verwaltungen, Krankenhäuser u. a.

Tabelle 6: Merkmale der Logistiknetzwerke (Quelle: Gudehus 2005, S. 568)

²³³ Vgl. Gudehus 2005, S. 568.

Die Vernetzung in Logistiknetzwerken ermöglicht eine Integration der Informationsflüsse unabhängig von den Materialflüssen zwischen den beteiligten Akteuren. Störungen oder Bedarfsschwankungen im Bereich der Materialflüsse werden in der Regel über Bestandsauf- und -abbau ausgeglichen. Eine Integration der Informationsflüsse soll dieses Bestandsmanagement zum Bewegungsmanagement entwickeln, so dass die Materialien im Fluss gehalten und Störungen oder Bedarfsschwankungen durch eine Beschleunigung oder Verzögerung der Materialflüsse reguliert werden. Außerdem können die Vorratshaltung reduziert und die Lagerbestände abgebaut werden. Dies führt zum einen zu einer Minimierung der Kosten und zum anderen zur Freisetzung zusätzlicher Potentiale, die sich in Konzepten wie Just-in-Time/Just-in-Sequence, Vendor/Buyer/Co-Managed Inventory, Continuous/Automatic Replenishment oder in Transshipment und Cross-Docking-Lösungen wieder finden.²³⁴

4.4.1.5 Netzwerkmanagement

Eine große Zahl beteiligter Akteure und Materialflüsse in den Netzwerken erschwert die zielgerechte Umsetzung logistischer Kenngrößen. In der Praxis ist zu erkennen, dass sich Unternehmen an mehreren Netzwerken beteiligen, wobei diese Komplexität eine effektive Koordination erfordert. Die Voraussetzung dafür schafft ein aktives Netzwerkmanagement, was ein wesentliches Erfolgskriterium in Logistiknetzwerken darstellt.

In der Literatur existiert keine einheitliche Definition für das Netzwerkmanagement. Die Charakterisierung erfolgt in der Regel über die Umschreibung der Netzwerkziele und die notwendigen Aufgabengebiete.²³⁵ Als Beispiele seien folgende Definitionen genannt.

„Netzwerkmanagement umfasst den Aufbau und die Entwicklung von Netzwerkstrukturen und -beziehungen sowie deren Koordination im Hinblick auf Netzwerkziele. Es beinhaltet all diejenigen Aufgaben, die zur Gestaltung der

²³⁴ Vgl. Wittig 2005, S. 6 und Heiserich 2002, S. 230.

²³⁵ Vgl. Kaczmarek et al. 2004, S. 4.

*Zusammenarbeit der Mitglieder über ihren gesamten Kooperationszyklus erforderlich sind.*²³⁶

*„Netzwerkmanagement (im funktionalen Sinne) bezeichnet die kooperationsweite Gestaltung und Koordination aller zwischenbetrieblichen Abhängigkeitsbeziehungen in sachlicher, zeitlicher und sozialer Dimension, die zur Erreichung des gemeinsamen Kooperationszwecks unterhalten werden.“*²³⁷

Die genannten Definitionen zeigen, dass das Netzwerkmanagement als ein Komplex von Aufgaben verstanden wird. Es werden wichtige Aufgabenfelder unterschieden, die vor Beginn einer Zusammenarbeit und während des Netzbetriebs auszuführen sind.

Die Tätigkeit des Netzwerkmanagements beginnt mit dem Aufbau der Netzwerkstruktur und der interorganisationalen Beziehungen. Dafür sind geeignete Netzwerkpartner und die Standorte sowie die Netzwerkform zu wählen. Die Infrastruktur eines Netzwerkes ist sowohl in organisatorischer und technischer als auch in personeller Hinsicht zu gestalten. Des Weiteren sind die Strukturen und Abläufe im Netzwerk zu planen und festzulegen.

Nach der Konfiguration des Netzwerks sind die Abläufe und Aktivitäten während des Netzbetriebs zu steuern und zu kontrollieren, wobei ein wesentlicher Aspekt in der Pflege und Erhaltung der Netzwerkstruktur, der Beziehungen im Netzwerk und deren synergienutzender Koordination liegt. Mit Hilfe von Simulations- und Modellierungsmechanismen können die Netzwerkprozesse optimiert werden.²³⁸

4.4.2 Organisatorische Aspekte zur Netzwerkbildung in der Sekundärrohstofflogistik

Die Literatur belegt, dass die Bildung von Unternehmensnetzwerken bislang vorwiegend in der Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik An-

²³⁶ Beck 1998, S. 11.

²³⁷ Wohlgemuth 2002, S. 42.

²³⁸ Vgl. Butz/Straube 2008, S. 72 und Kaczmarek et al. 2004, S. 5.

wendung gefunden hat. Für die rückführende und im Besonderen für die spezielle Logistik der Sekundärrohstoffe sind ebenfalls logistische Netzwerkstrukturen notwendig, um Rückstände zu sammeln, zu den Unternehmen der Aufarbeitung oder Aufbereitung zu transportieren und die gewonnenen sekundären Materialien für den Wiedereinsatz bereitzustellen.²³⁹ Für diese Aufgaben sind drei Teilsysteme des Netzwerkes erforderlich. Das sind die Rückstandsammel-Systeme (Redistribution), die Aufarbeitungs- und Aufbereitungs-Systeme sowie die Sekundärrohstoffhändler-Systeme (Wiedereinsatz). Abbildung 17 verdeutlicht diese netzwerkartigen Strukturen.

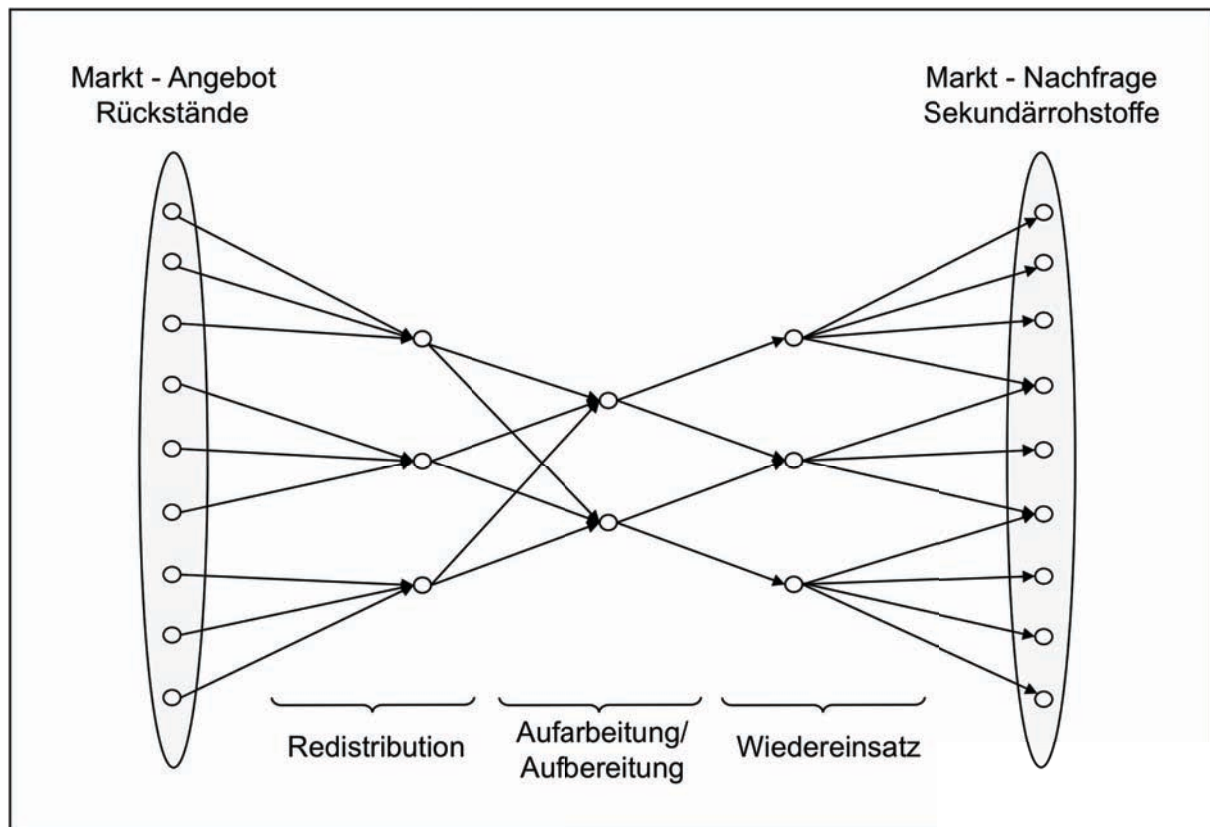


Abbildung 17: Materialflüsse im Netzwerk (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fleischmann et. al. 2004, S. 68)

Die Netzwerkstruktur ist gekennzeichnet durch einen konvergenten Materialstrom im Bereich der Redistribution sowie durch einen divergierenden Materialstrom im Bereich des Wiedereinsatzes der sekundären Materialien. Die Se-

²³⁹ Vgl. Martens 2007, S. 54 und Fleischmann et al. 2004, S. 65. Vgl. hierzu auch Fleischmann et al. 2000, S. 657-659 und Blackburn et al. 2004, S. 7-8.

kundärrohstofflogistik verfügt über einen zweiseitigen Marktfokus, zum einen der Beschaffungsmarkt von Rückständen und zum anderen der Nachfragemarkt nach Sekundärrohstoffen.

Die dargestellte Netzwerkstruktur weist vorerst einen exemplarischen Charakter auf und wird in den weiteren Ausführungen konkretisiert. Netzwerke in der Sekundärrohstofflogistik sind nicht identisch und unterscheiden sich hinsichtlich der beteiligten Akteure, der Verantwortlichkeiten, des Zentralisationsgrades und der Anzahl der Netzwerkebenen.²⁴⁰ Des Weiteren sind Netzwerke in die Subsysteme Redistribution, Aufarbeitung und Aufbereitung sowie Wiedereinsatz und systemübergreifende Netzwerke zu differenzieren.²⁴¹ Die Netzwerke können dabei unabhängig voneinander oder interdisziplinär agieren.

Im Folgenden werden besondere Eigenschaften von Netzwerken in der Sekundärrohstofflogistik betrachtet.²⁴²

4.4.2.1 Netzwerkeigenschaften

Die Netzwerkstrukturen im Bereich der vorwärts- und der rückwärtsgerichteten Logistik stimmen im Wesentlichen überein, jedoch bestehen in einzelnen Punkten Differenzen. Beiden Lieferketten ist der Umfang der Nachfrage unbekannt. In der Sekundärrohstofflogistik kommt zusätzlich die Ungewissheit auf der Beschaffungsseite hinzu, da Rückstände nicht in Massenströmen und gleich bleibender Qualität anfallen. Der Zeitpunkt des Rückflusses ist unbekannt und nicht beeinflussbar. Eine große Herausforderung liegt in einer wirksamen Abgleichung des Angebotes an Rückständen und der Nachfrage nach Sekundärrohstoffen.²⁴³ Mit Hilfe von Netzwerken sollen die Materialflüsse unter Berücksichtigung der Unsicherheiten und Unregelmäßigkeiten stabilisiert werden.

²⁴⁰ Vgl. Fleischmann et. al. 2004, S. 67-69.

²⁴¹ Vgl. Martens 2007, S. 55.

²⁴² Vgl. zu Reverse Logistics Netzwerken auch Guide 2000, S. 475 und Fleischmann et al. 2000, S. 654-657.

²⁴³ Vgl. Guide 2000, S. 472-473. Vgl. hierzu auch Fleischmann et al. 2000, S. 658-659 und Thierry et al. 1995, S. 116-117.

Die Materialflüsse der traditionellen Wertschöpfungsnetzwerke verlaufen in der Regel in eine Richtung mit vorgegebenen Input-Output-Beziehungen, wohingegen die Stoffströme der Sekundärrohstofflogistik über verschiedene Eingangs- und Ausgangsströme verfügen, wie es in Abbildung 18 vereinfacht dargestellt ist.

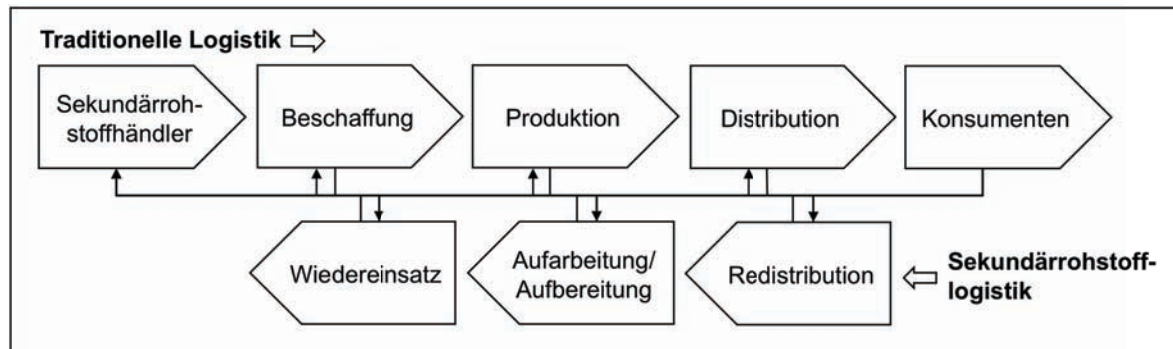


Abbildung 18: Stoffströme und Input-Output-Beziehungen (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Steven 2004, S. 164)

Beide Materialflüsse beinhalten Synergiepotentiale und tragen zur Erzielung von Skaleneffekten bei. So können beispielsweise Aktivitäten der vorwärts- und rückwärtsgerichteten Logistik in denselben Betriebstätten durchgeführt werden, wobei eine Senkung der Gemeinkosten möglich ist. Des Weiteren können die Aktivitäten zur Sammlung von Rückständen mit denen der Distribution integriert werden, was beispielsweise helfen kann, die Anzahl an Leerfahrten zu reduzieren.²⁴⁴

4.4.2.2 Motive für eine Netzwerkgründung

Das Hauptmotiv zur Gründung von Unternehmensnetzwerken liegt in der „Erzielung einer Kooperationsrente in den Bereichen der Zusammenarbeit.“²⁴⁵ Die Kooperationsrente bezeichnet dabei einen Vorteil, der durch kooperative Zusammenarbeit erreicht werden kann. Dieser Vorteil kann unterschiedliche Formen annehmen. So können beispielsweise Kosten reduziert, Skalenerträge erzielt und der monetäre Unternehmenserfolg im Allgemeinen erhöht werden. Die Arbeit im Netzwerk gewährt dabei Zugang zu Ressourcen oder Kompe-

²⁴⁴ Vgl. Fleischmann et al. 2004, S. 69-70 und Steven 2004, S. 164.

²⁴⁵ Martens 2007, S. 55.

tenzen, über welche die Unternehmen nicht selbst verfügen, so dass durch die komplementäre und gemeinsame Leistungserstellung im Verbund mit anderen Unternehmen die Generierung von Wettbewerbsvorteilen möglich ist.²⁴⁶

Mögliche Kooperationsbereiche in der Sekundärrohstofflogistik liegen in den Subsystemen Redistribution, Aufarbeitung und Aufbereitung sowie Wiedereinsatz. Darüber hinaus ist eine Zusammenarbeit in prozessübergreifenden Netzwerken denkbar.

Im Bereich der Redistribution entstehen logistische Kosten für den Transport der Rückstände, welche möglichst gering zu halten sind. Ist die räumliche Rückstandsstruktur jedoch sehr großflächig mit einer Vielzahl an Rückstandsquellen, kann ein einzelnes Unternehmen diesen Rückstandsraum möglicherweise nicht kostenoptimal bedienen. Zum Beispiel könnte eine Transportkooperation in Form eines Hub-and-Spoke-Systems in diesem Bereich zu einem besseren Ergebnis führen. Netzwerke im Bereich der Redistribution bieten sich bereits dort an, wo die Rückstandsquellen bereits netzwerkartig organisiert sind.²⁴⁷

Die Hauptaufgabe der Aufarbeitung und Aufbereitung ist die Gewinnung von Sekundärrohstoffen, wobei die Qualität dieser Stoffe einen hohen Anteil zu einer Generierung hoher Umsätze in der Absatzphase beiträgt. Die Erfolgsfaktoren dafür sind zum einen ein hoher Reinheitsgrad der sekundären Materialien und zum anderen eine hohe Anlagenauslastung zur Erzielung geringer Stückkosten. Die Qualität der Sekundärrohstoffe kann durch eine höhere Anzahl an Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozessen verbessert werden. Durch die Netzbildung stehen mehr Aufarbeitungs- und Aufbereitungsstandorte zur Verfügung. Dadurch ist die Möglichkeit zu vielfältigeren Aufarbeitungs- und Aufbereitungsoptionen gegeben, wodurch wiederum die Qualität der sekundären Materialien erhöht werden kann. Diese Art der Vernetzung ist jedoch nur gerechtfertigt, wenn der logistische Mehraufwand für den Qualitätsgewinn

²⁴⁶ Vgl. Martens 2007, S. 41-54.

²⁴⁷ Vgl. Martens 2007, S. 55-56 und S. 177. Vgl. zu Hub-and-Spoke Systemen Arnold et al. 2008, S. 16-17 und Krampe/Lucke 1993, S. 95.

durch höhere Absatzpreise mindestens ausgeglichen wird. Eine Zusammenarbeit im Netzwerk in diesem Bereich ist erforderlich, wenn mit zunehmender Komplexität der Rückstände eine effiziente Aufarbeitung und Aufbereitung in einem einzelnen Betrieb nicht sichergestellt werden kann. Die Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse sind dann entsprechend der Kompetenzen in den verschiedenen Betrieben des Netzwerkes durchzuführen. Die Verteilung der Rückstandsmengen führt zu einer optimalen Auslastung der Anlagen und zur Verringerung der Stückkosten in den beteiligten Betrieben des Netzwerkes.²⁴⁸

Im Bereich des Wiedereinsatzes entstehen wie bei der Redistribution logistische Kosten für den Transport der Sekundärrohstoffe zu den produzierenden Unternehmen. Eine Netzwerkstruktur bietet sich an, wenn der Absatzraum von einem einzelnen Logistikunternehmen nicht kostenoptimal bedient werden kann und eine kooperative Planung im Netzwerk zu einer Reduktion der Logistikkosten beiträgt.²⁴⁹

Nach der separaten Betrachtung des Kooperationspotentials innerhalb der einzelnen Prozesse der Sekundärrohstofflogistik, wird im Folgenden die systemübergreifende Zusammenarbeit betrachtet. Prozessübergreifende Netzwerke agieren branchenübergreifend und schließen auch Netzwerke der Güter versorgenden und Rohstoff verbrauchenden Unternehmen mit ein. Eine Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb dieser Netzwerke ist die Anbindung möglichst vieler Rückstandsquellen aus Handel und Industrie an die Senken des Netzwerkes. Für die angeschlossenen Betriebe wird zum einen die gesicherte und transparente Abnahme der Rückstände garantiert und zum anderen wird für die produzierende Industrie der Rohstoffnachschub gewährleistet. Den Betrieben der Sekundärrohstofflogistik wird dadurch die Erzielung von Größeneffekten ermöglicht.

Für die prozessübergreifende Weitergabe und Nutzung dieser Skaleneffekte ist eine enge Zusammenarbeit im Verbund notwendig. Zusätzlich zu den quantitativen Vorteilen erzeugt die Netzwerkbildung eine Reihe qualitativer Vorteile.

²⁴⁸ Vgl. Martens 2007, S. 56-57 und S. 182-183.

²⁴⁹ Vgl. Martens 2007, S. 57. Vgl. zu logistischen Kosten Bilitewski et al. 1994, S. 61.

So kann ein regelmäßiger Informationsaustausch im gesamten Netzwerk zu einer Erhöhung der Marktanpassungsfähigkeit, der Flexibilität und der Innovationsfähigkeit beitragen. Durch zielgerichtetes und abgestimmtes Verhalten²⁵⁰ können die Kooperationspartner die Branchenstruktur beeinflussen und somit die Marktposition und die Marktmacht des gesamten Netzwerks verbessern, wodurch die strategischen Netzwerkziele besser durchsetzbar sind. Des Weiteren besteht die Möglichkeit zu gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsarbeit hinsichtlich demontagegerechter und recyclingfähiger Produktkonstruktionen, welche einen effizienten Materialfluss in den späteren Produktlebensphasen ermöglichen. Tabelle 7 fasst die Auswirkungen der Netzwerkbildung in den einzelnen Subsystemen der Sekundärrohstofflogistik und im Gesamtsystemverbund zusammen.²⁵¹

Bereich	Kooperative Maßnahmen	Auswirkungen auf Unternehmensziele
Redistribution	logistische Optimierung	Kostensenkung
	Input-Mengenbündelung	Kostensenkung
	Vergrößerung des Marktraumes	Höhere Wettbewerbsfähigkeit
Verwertung	Kombination von Anlagen	Kapazitätssteigerung
	Steigerung der Verwertungsoptionen	Höhere Absatzpreise
Wiedereinsatz	logistische Optimierung	Kostensenkung
	Output-Mengenbündelung	Marktmachtsteigerung
	Vergrößerung des Absatzmarktes	Preiserhöhung
Systemübergreifend	Sicherung von Mengen	Kostensenkung
	abgestimmtes Verhalten	Marktmachtsteigerung
	Informationsaustausch	verbesserte Innovationsfähigkeit, Marktflexibilität, gemeinsame FuE

Tabelle 7: Maßnahmen und Auswirkungen der Netzwerkbildung auf die Unternehmensziele (Quelle: Martens 2007, S. 58)

²⁵⁰ Zum Beispiel in Form von Lobbyismus, Interessenvertretungen, gemeinsame Marktpresenz. Vgl. Martens 2007, S. 58.

²⁵¹ Vgl. Martens 2007, S. 57-58. Vgl. zur besseren Durchsetzung strategischer Ziele Walther 2005, S. 72.

4.4.2.3 Netzwerktypologisierung

In den nächsten Ausführungen soll eine kurze Typisierung der Netzwerke in der Sekundärrohstofflogistik vorgenommen werden. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Netzwerkarten, welche sich anhand der Wertschöpfungsstufe in horizontale, vertikale und laterale Netzwerke unterscheiden lassen.

In horizontalen Netzwerken erfolgt eine Kooperation zwischen Unternehmen auf derselben Wertschöpfungsstufe, wie es zum Beispiel in reinen Redistributions- oder Verwertungsnetzwerken der Fall ist. In vertikalen Netzwerken arbeiten Unternehmen der Sekundärrohstofflogistik aus verschiedenen vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zusammen. In lateralen Netzwerken kooperieren Unternehmen verschiedener Branchen und Wertschöpfungsstufen, wobei auch Unternehmen integriert sind, die nicht der Branche der Sekundärrohstofflogistik angehören.²⁵²

4.4.2.4 Netzwerkmodellierung in der Sekundärrohstofflogistik

Um die Entscheidungsfindung zur kooperativen Zusammenarbeit zu unterstützen, wird im Folgenden ein Grundmodell eines Netzwerkes der Sekundärrohstofflogistik entworfen. Dabei sollen der Modelltyp, die Modellelemente und die Modellprozesse bestimmt werden. Für die Darstellung der Mengenströme zwischen den räumlich getrennten Quellen und Senken eines Sekundärrohstofflogistiknetzwerks über die Zwischenstationen ist ein graphenbasiertes Transportmodell geeignet. Das Ziel dieser Modellierung ist die Verteilung der Mengenströme zwischen den Quellen und den Senken zu minimalen Transportkosten.²⁵³

Die grundlegenden Elemente des Modells sind das Angebot an Rückständen, im Besonderen die Standorte des Rückstandanfalls und die Nachfrage nach Rückständen auf den Sekundärrohstoffmärkten. Sie stellen die Netzwerkquellen und -senken dar. Das Modell ist um weitere Elemente, welche die Besonderheiten eines Sekundärrohstofflogistiknetzwerks widerspiegeln, zu erweitern. Diese sind die Sammel- und Zwischenlager (Logistiklager) sowie die Auf-

²⁵² Vgl. Martens 2007, S. 59-60. Vgl. zur Netzwerktypologisierung auch Schwinn 1993, S. 197 und Balling 1998, S. 41-49. Vgl. zu Closed-loop Netzwerken Flapper et al. 2005, S. 4 oder Abschnitt 2.5.2.

²⁵³ Vgl. zur Minimierung der Transportkosten Arnold et al. 2008, S. 44-46.

arbeits- und Aufbereitungsbetriebe, welche die Zwischenelemente des Netzwerks darstellen. In diesem Fall wird der Aspekt der Entsorgung integriert, welcher in den vorherigen Ausführungen vernachlässigt wurde, da die Rückstände in der Regel nicht vollständig verwertet werden können. Deponien sind daher als weitere Netzwerkelemente zu definieren, welche die Funktionen einer Netzwerksenke übernehmen.

Die Kanten in diesem Modell bilden die transportierenden Prozesse Redistribution, Zwischentransporte und Wiedereinsatz ab. Die Knoten dagegen stellen die nicht-transportierenden Prozesse dar, die ortsgebunden durchgeführt werden. Sie sind zum einen die Quellen und Senken des Netzwerks und zum anderen die dazwischen liegenden Knotentypen Lager sowie Aufarbeitungs- und Aufbereitungsbetriebe.

Die Abbildung der realen Sachverhalte in einem Modell erfordert eine Reduktion der Ausgangsdaten auf entscheidungsrelevante Faktoren. Dazu werden im Folgenden Annahmen getroffen, die die Rahmenbedingungen für die Modellierung darstellen.

Der Materialfluss beginnt bei den Anfallstellen, deren Knoten die Netzwerkquellen darstellen. Sie sind in einem Hol- oder Bring-System²⁵⁴ integriert und überführen die Rückstände in das Netzwerk. In der Realität existiert eine Vielzahl von Anfallstellen wie beispielsweise öffentliche Sammelstellen, Sammelcontainer, Annahmestellen oder Wertstoffhöfe. Annahme 1 der Modellierung begrenzt die Zahl zentraler Anfallstellen auf eine endliche Zahl, die als Sammelstationen von Rückständen dienen. Des Weiteren erfolgt die Rückgabe der Rückstände nach dem Bring-System. Die Anbieter von Rückständen sind für den Transport selbst verantwortlich, so dass den Anfallsstellen keine Sammelkosten entstehen.

Die Rückstände können im Anschluss von den Anfallstellen zu den Logistiklagern transportiert werden, wo sie gesammelt, sortiert, zu Transporteinheiten zusammengefasst, auf Transportmittel umgeschlagen oder eingelagert wer-

²⁵⁴ Vgl. zu Bring-Systemen und Hol-Systemen Ivisic 2002, S. 183.

den. In der Annahme 2 findet das Prinzip „Verwertung vor Beseitigung“ Anwendung.²⁵⁵ Das bedeutet, dass alle Rückstände entweder direkt von den Anfallstellen oder von den Logistiklagern den Aufarbeitungs- und Aufbereitungsbetrieben zugeführt werden. Die Rückstände müssen mindestens einen Verwertungsprozess durchlaufen. Eine Umgehung der Aufarbeitungs- und Aufbereitungsbetriebe ist nicht möglich.

Annahme 3 definiert den Verwertungsprozess. Alle Rückstände werden in den Aufarbeitungs- und Aufbereitungsbetrieben verwertet, wobei die Verwertung abhängig von den vorhandenen Verwertungstechnologien, von der Verwertungsfähigkeit²⁵⁶ der Rückstände und vom Verwertungsaufwand ist.²⁵⁷ Es werden zwei Arten der Verwertung unterschieden: die durchlaufende Verwertung und die analytische Verwertung. Bei der durchlaufenden Verwertung erfolgt keine Zerlegung der Rückstände. Sie können nach erfolgter Aufarbeitung direkt wieder als Sekundärrohstoff verwendet werden. Das Input-Output-Verhältnis der Materialströme beträgt somit 1:1. Bei der analytischen Verwertung werden die Rückstände in mehrere Komponenten zerlegt. Dies können aufbereitete Sekundärrohstoffe oder nicht verwertbare Reststoffe zur Deponierung sein. Das Stoffstromverhältnis beträgt in diesem Fall 1:N mit $(N=2,...,n)$.

Die Netzwerksenken in der Modellierung sind die Absatzmärkte für Sekundärrohstoffe und die Deponien. Die Materialversorgung der Senken wird in Annahme 4 betrachtet. Diese werden ausschließlich mit den Output-Materialströmen der Aufarbeitungs- und Aufbereitungsbetriebe versorgt. Die Absatzmärkte erhalten die aufgearbeiteten und aufbereiteten Sekundärrohstoffe. Die nicht verwertbaren Reststoffe gelangen hingegen zu den Deponien. Abbildung 19 veranschaulicht die Netzwerkmodellierung unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen.

²⁵⁵ Vgl. § 5 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 1994, S. 6.

²⁵⁶ Verwertungsfähigkeit oder Verwertungspotential bedeutet, dass nicht alle Rückstände vollständig verwertet werden können. In der Regel nimmt die Verwertungsfähigkeit einen Wert x ($0 \leq x \leq 1$) ein.

²⁵⁷ Ein hohes Verwertungspotential kann nur mit der entsprechenden Verwertungstechnologie und mit hohem Verwertungsaufwand erreicht werden.

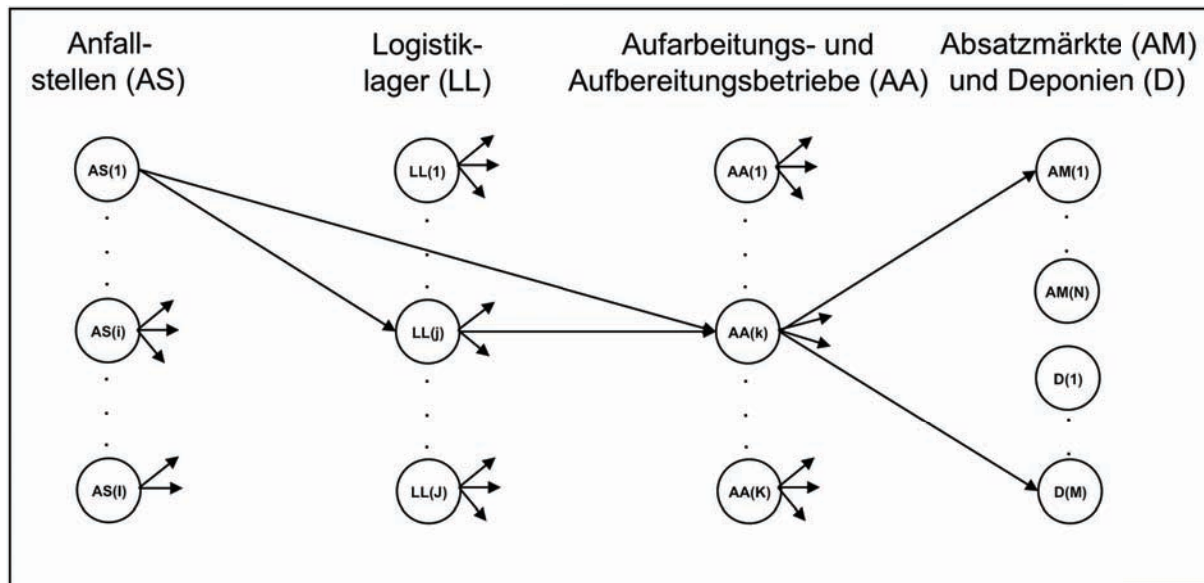


Abbildung 19: Darstellung eines Netzwerkgrundmodells (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Martens 2007, S.152)

In der Abbildung sind die Beziehungen der Netzwerkelemente durch einen gerichteten Graphen dargestellt. Die Pfeile mit einem Start- und Zielknoten beschreiben eine logistische Verbindung und die kurzen Pfeile zeigen mögliche Outputströme zu verschiedenen Zielknoten.²⁵⁸

4.4.2.5 Beispiele von Netzwerken

Im Folgenden werden als Ergebnis einer erfolgreichen Netzwerkmodellierung drei spezifische Netzwerkformen beispielhaft vorgestellt, die in der Sekundärrohstofflogistik Anwendung finden können.

Regionale Netzwerke

In einem regionalen Netzwerk sind die Logistik-Dienstleister der Redistribution und des Wiedereinsatzes sowie die Unternehmen der Aufarbeitung und Aufbereitung einer Region organisiert. Das Netzwerk agiert in einem räumlich begrenzten Gebiet als Komplettanbieter der Sekundärrohstofflogistik. Die einzelnen Unternehmen des Netzwerks verfügen über begrenzte Ressourcen, welche durch Bündelung optimal genutzt werden sollen. Aufgrund des vorhandenen Auftragspotentials und geeigneter Netzwerkpartner ist die Zusammenarbeit nur in Ballungsgebieten zweckmäßig, wobei die Steuerung ein Gremium

²⁵⁸ Vgl. Martens 2007, S. 141-151.

der beteiligten Unternehmen übernimmt. Dieses vergibt die einzelnen Aufträge und ist in der Lage, die Netzwerkkapazitäten optimal auszulasten.

Die Prozesse der Rückführung, der Aufarbeitung und Aufbereitung sowie der Redistribution führen zu Verkehrsströmen, die das Verkehrssystem in Ballungsgebieten zusätzlich belasten. Das regionale Netzwerk trägt einen erheblichen Teil dazu bei, dieses durch eine optimierte Standort- und Tourenplanung zu entlasten. Mithilfe kombinierter Wiedereinsatz- und Redistributionsprozesse können weitere Verkehrsströme verhindert werden, wobei die informatorische Kopplung der Aufarbeitungs- und Aufbereitungsunternehmen mit den Logistik-Dienstleistern zu einer frühzeitigen Information über die Mengen und Anlieferzeitpunkte der Rückstände führt. Dadurch ist eine genauere Planung der Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse möglich. Auf der Seite des Wiedereinsatzes bietet die Kooperation mit den Aufarbeitungs- und Aufbereitungsunternehmen frühzeitige Informationen zu vorhandenen Sekundärrohstoffen und erlaubt eine optimierte Tourenplanung.²⁵⁹

Virtuelle Unternehmen

Die Qualität der Sekundärrohstoffe kann durch eine hohe Anzahl verschiedener Aufarbeitungs- und Aufbereitungsoptionen verbessert werden. Die qualitativ hochwertigen Materialien ermöglichen höhere Absatzpreise und tragen zu einer Steigerung der Gewinne bei.

Große Aufarbeitungs- und Aufbereitungsunternehmen können sich zu einem Virtuellen Unternehmen (VU) auf nationaler oder internationaler Ebene zusammenschließen, wobei sie zugleich die Steuerung des Netzwerks übernehmen. Die Integration und informatorische Anbindung vieler kleiner und spezialisierter Unternehmen in das VU führt zu einer Erhöhung der Aufarbeitungs- und Aufbereitungsoptionen. Die integrierten Unternehmen erzielen durch die Konzentration auf ihre spezialisierten Prozesse Lerneffekte,²⁶⁰ welche den Unternehmen eine Erhöhung der Produktivität und eine Verbesserung

²⁵⁹ Vgl. Frille 1998, S. 18-19.

²⁶⁰ Vgl. Frille 1998, S. 19.

der Wirtschaftlichkeit ermöglichen.²⁶¹ Die einzelnen Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse werden elektronisch erfasst und in einer Datenbank abgespeichert. Der Zugriff auf die zentrale Datenbank durch das Steuerungsgremium ermöglicht eine Kombination der spezialisierten Prozesse. Die qualitativen Eigenschaften der erzeugten Sekundärrohstoffe können durch die Zusammenführung der Prozesse verbessert und die Ressourcen sowie Kapazitäten sinnvoll genutzt werden.²⁶²

Strategische Netzwerke

Ein strategisches Netzwerk kann aus den Logistik-Dienstleistern der Redistribution und des Wiedereinsatzes, den Aufarbeitungs- und Aufbereitungsunternehmen sowie Unternehmen anderer Branchen bestehen. In diesem Beispiel ist ein Wartungsunternehmen aus Industrie und Handel integriert. Das Ziel dieser Zusammenarbeit ist die Nutzung von Synergien, die sich aus der Symbiose von Wartung, Redistribution, Aufarbeitung und Aufbereitung sowie des Wiedereinsatzes ergeben. Das Strategische Netzwerk agiert als Systemdienstleister auf nationaler oder internationaler Ebene. Die Aufgaben der Steuerung übernimmt eine unabhängige Organisation aus den beteiligten Unternehmen. Ein wesentlicher Vorteil für das Netzwerk wird in der frühzeitigen Übermittlung von Planungsinformationen der beteiligten Unternehmen an das Steuerungsgremium erreicht, welche an zentraler Stelle aufbereitet und bereitgehalten werden.

Die Informationen der Wartungsunternehmen über den Standort, den Zustand und die Art der Rückstände ermöglichen den Logistik-Dienstleistern eine Optimierung der Redistribution. So können sie kurzfristig auf Kundenaufträge reagieren, Bündelungseffekte stärker nutzen und ihre Tourenplanung besser gestalten. Des Weiteren können die Anforderungen der Aufarbeitungs- und Aufbereitungsunternehmen in der Planung und Durchführung der Redistribution größere Berücksichtigung finden. Die Unternehmen der Aufarbeitung und Aufbereitung nutzen die verfügbaren Informationen für die Losgrößenplanung ihrer Prozesse. Die informatorische Kooperation versetzt die Logistik-

²⁶¹ Vgl. Laarmann 2005, S. 110.

²⁶² Vgl. Frille 1998, S. 19.

Dienstleister des Wiedereinsatzes ebenfalls in die Lage, ihre Tourenplanung zu optimieren.

Die Voraussetzung für die genauen Planungen und Optimierungen ist die Aktualität der Daten entlang der gesamten Logistikkette. Die Gewährleistung der Aktualität erhöht die Auslastung und die Wirtschaftlichkeit des strategischen Netzwerks.²⁶³

4.5 Anpassungsbedarf der Disposition an die Sekundärrohstofflogistik

Wie in Abschnitt 3.4 bereits erläutert, wird für die Produktion in dynamischen Umgebungen und im Rahmen dieser Arbeit das Verfahren der dynamischen Disposition angewendet. Die Rahmenbedingungen der Sekundärrohstofflogistik unterscheiden sich im Gegensatz zu klassischen konstanten Massenproduktionen oder auch Kleinserienfertigungen im Bereich der vorwärtsgerichteten Logistik. Daher sind Anpassungsmaßnahmen an die Disposition in der Sekundärrohstofflogistik zu identifizieren und in die manuellen oder elektronischen Dispositionsalgorithmen zu integrieren.

Ein erster Punkt, der in der Disposition in der Sekundärrohstofflogistik berücksichtigt werden muss, sind die auftretenden Rückstände. Der zeitliche Anfall von Rückständen, die Mengen und Arten sowie der qualitätsmäßige Zustand können stark variieren. Dabei hat der dynamische und unsichere Rückstandsfluss Auswirkungen auf die Entscheidungen in der zukünftigen Produktionsplanung und -steuerung.²⁶⁴ Neben den genannten Unsicherheiten besteht auch Unsicherheit bezüglich des örtlichen Anfalls von Rückständen. In Abhängigkeit vom Organisationsgrad bei der Sammlung beziehungsweise Redistribution von Rückständen sind die Auswirkungen auf die Fahrzeugdisposition und die Transportplanung entsprechend hoch beziehungsweise niedrig.

²⁶³ Vgl. Frille 1998, S. 19-20.

²⁶⁴ Vgl. Minner/Lindner 2004, S. 157-158; Kiesmüller et al. 2004, S. 221-222 und Inderfurth et al. 2004, S. 249.

Im Gegensatz zu einem hohen Organisationsgrad impliziert ein geringer Organisationsgrad eine hohe dynamische Fahrzeugdisposition und Tourenplanung. Dabei sind die Zusammensetzung des Fuhrparks, die Fahrzeugarten, die Anzahl und die räumliche Verteilung der Sammelstellen und die Arbeitsschritte bei der Sammlung und Redistribution in der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen.²⁶⁵

Die Verfügbarkeit in Verbindung mit den genannten Unsicherheiten und Zuständen der Rückstände haben Einfluss auf den Produktionsprozess von Sekundärrohstoffen. Die vorhandenen Rückstände sind die Voraussetzung dafür, dass ein Produktionsprozess gestartet werden kann. Die Problematik des Produktionsstarts kann zum Beispiel mit sicheren Lagerbeständen kompensiert werden. Dazu ist es erforderlich, Daten zum regelmäßigen Zeitanfall von Rückständen²⁶⁶ und den Nachfragen nach Sekundärrohstoffen zu akkumulieren und in die Materialbedarfsplanung zu integrieren. Die Ergebnisse der Materialbedarfsplanung werden danach dem Lagerbestandsmanagement bereitgestellt, welches die sicheren Lagerbestände dynamisch anpasst und die Lagerbestandsdaten für die Disposition von Produktionsentscheidungen zugänglich macht.

Der qualitative Zustand, die Art und die Zusammensetzung der Rückstände bestimmen nach einer anfänglichen Sortierung und Untersuchung die notwendigen Demontage-, Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse. In Abhängigkeit vom jeweiligen Rückstand und der für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen durchzuführenden Arbeiten ist die Komplexität der Prozesse sehr unterschiedlich. Dadurch können die Bearbeitungszeiten und in der Folge die Durchlaufzeiten in der Produktion stark schwanken. Die Anzahl der Produktionsschritte und -prozesse sowie der gesamte Aufwand, der für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen notwendig ist, beeinflusst wiederum die Produktions-

²⁶⁵ Vgl. Johansson 2006, S. 876 und Guide et al. 1997, S. 189.

²⁶⁶ Die Verfügbarkeit von Rückständen kann mit Vorhersagetechniken, wie sie in Abschnitt 3.2.3.2 erläutert wurden, identifiziert werden.

kosten, welche aufgrund des nicht genau vorhersehbaren Produktionsablaufs variieren können.²⁶⁷

Die benannten Aspekte des dynamischen Bestandsmanagements, unterschiedliche Durchlaufzeiten und variierende Produktionskosten wirken sich negativ auf die Losgrößenberechnung aus. Die klassischen Verfahren zur Ermittlung optimaler Losgrößen wie das Economic Order Quantity (EOQ)-Modell oder Silver-Meal- und Groff-Verfahren sind in der Sekundärrohstofflogistik nur beschränkt einsatzfähig, da die Modelle und Verfahren zur Berechnung der optimalen Losgröße verlässliche Inputdaten zu den Rüst-, Herstell- oder Lagerkosten benötigen. Diese sind jedoch nur begrenzt oder kurzfristig verfügbar, so dass eine langfristige Losgrößenplanung für die Zwecke der Sekundärrohstofflogistik ungeeignet ist. Die Berechnungsverfahren der Modelle und Methoden zur Ermittlung optimaler Losgrößen müssen um die identifizierten Aspekte und Operationen erweitert und angepasst werden, wodurch sie für die kurzfristige, dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik zum Einsatz kommen können.²⁶⁸

Ein weiterer Aspekt, welcher in der Disposition zur Herstellung von Sekundärrohstoffen Berücksichtigung finden muss, ist die Möglichkeit der Entsorgung von Rückständen. Dabei entstehen weitere Aufgabengebiete und Kostenkategorien, die das System der Sekundärrohstofflogistik beeinflussen.²⁶⁹ Da die Option zur Entsorgung in dieser Arbeit nicht betrachtet wurde, bleibt sie auch in den weiteren Ausführungen unberücksichtigt.

In der Literatur werden eine Reihe von mathematischen Modellen zur Losgrößenbildung oder zum Bestandsmanagement präsentiert, welche die beschriebenen Faktoren berücksichtigen. Diese können in die Dispositionsalgorithmen

²⁶⁷ Vgl. Guide et al. 1997, S. 189; Minner/Lindner 2004, S. 159-160; Kiesmüller et al. 2004, S. 221-222 und Inderfurth et al. 2004, S. 249.

²⁶⁸ Vgl. Minner/Lindner 2004, S. 159-160; Nebl 2004, S. 493-499; Corsten/Gössinger 2009, S. 472-475; Günther/Tempelmeier 2007, S. 205-211; Wutz 2008, S. 122-128 und Schwarz 2008, S. 135-141.

²⁶⁹ Vgl. Minner/Lindner 2004, S. 159-160.

der Unternehmen für eine kurzfristige und dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik integriert werden.²⁷⁰

4.6 Strukturen der rückführenden Logistik

Im folgenden soll dargestellt werden, wie die Rückführungsströme von Materialien in der Praxis funktionieren und wo Ansatz- und Einsatzpunkte für MAS bestehen. Zunächst wird eine Problemanalyse vorgenommen, um die Probleme und Anforderungen für den Einsatz der MAS im Bereich der Logistik und Fertigungssteuerung zu erarbeiten. Anschließend werden Konzepte und praktische Beispiele in der rückführenden Logistik vorgestellt.

4.6.1 Problemanalyse

Die Problemanalyse kann nach *Lieske* in die Problemeingrenzung und Problembeschreibung unterteilt werden. Für die Problemeingrenzung benutzt *Lieske* folgenden morphologischen Kasten, der verschiedene Unternehmen hinsichtlich ihrer Auftragsabwicklungsmerkmale kategorisiert. Die morphologische Darstellung wird in Abbildung 20 gezeigt.

²⁷⁰ Vgl. hierzu die Arbeiten von Minner/Lindner 2004; Kiesmüller et al. 2004; Inderfurth et al. 2004; Inderfurth 2004; Richter/Dobos 2004 oder Wutz 2008.

Auftragsabwicklungsmerkmale	Merkmalsausprägung				
Auftragsauflösungsart	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen	Produktion auf Bestellung mit Rahmenverträgen	kundenanonyme Vorproduktion/kundenauftragsbezogene Endproduktion	Produktion auf Lager	
Erzeugnisspektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten		Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
Erzeugnisstruktur	mehnteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur		mehnteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	geringteilige Erzeugnisse	
Ermittlung des Erzeugnisbedarfs	bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene	teilw. erwartungs-/teilw. bedarfsorient. auf Komponentenebene	erwartungsorientiert auf Komponentenebene	erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene	verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene
Auslösung des Sekundärbedarfs	auftragsorientiert		teilw. auftragsorientiert teilw. periodenorientiert	periodenorientiert	
Beschaffungsart	weitgehender Fremdbezug	Fremdbezug in größerem Umfang		Fremdbezug unbedeutend	
Bevorratung	keine Bevorratung von Bedarfspositionen	Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen		Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen	Bevorratung von Erzeugnissen
Fertigungsart	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung		Massenfertigung
Ablaufart in der Demontage	Baustellendemontage		Gruppendemontage	Reihendemontage	Fließdemontage
Ablaufart in der Fertigung	Werkstattfertigung		Inselfertigung	Reihenfertigung	Fließfertigung
Fertigungsstruktur	Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad		Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad	Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad	
Kundenänderungseinflüsse	Änderungseinflüsse in größerem Umfang		Änderungseinflüsse gelegentlich	Änderungseinflüsse unbedeutend	

Abbildung 20: Morphologische Darstellung der Merkmale zur Auftragsabwicklung und deren Ausprägung zur Kategorisierung der Unternehmen (Quelle: Angepasste Darstellung in Anlehnung an Lieske 2005, S. 12)²⁷¹

Die grau hinterlegten Flächen kennzeichnen die auftragsabwickelnden Merkmale der Unternehmen im Bereich der rückführenden Logistik und Fertigung von Sekundärrohstoffen. Die Grautonabstufung von dunkel nach hell stellt einen Relevanzverlust dar und hilft bei der Interpretation der Abbildung.

Die Auftragsauflösungsart, eines der start- und zielgebenden Kriterien für die Fertigungssteuerung, erfolgt bei den Unternehmen zunächst kundenanonym und in Verbindung mit der Ermittlung des Erzeugnisbedarfs erwartungsorientiert. Dies hat zur Folge, dass die Unternehmen eine Bevorratung von Bedarfspositionen und Erzeugnissen vornehmen. Die Änderungseinflüsse der Kunden

²⁷¹ Vgl. hierzu auch Sames/Büdenbender 1998 und Schuh/Gierth 2006.

und der weitgehend, zum Teil unsichere Fremdbezug von Materialien verstärkt diesen Effekt. Im Falle einer kundenauftragsbezogenen Endproduktion findet eine auftrags- oder periodenorientierte Bedarfsauslösung statt, welche die Bevorratung von Positionen verringert.

Bei Sekundärrohstoffen handelt es sich objektiv gesehen um Standarderzeugnisse in geringer Variantenvielfalt und geringteiligem Charakter, da in der Regel nicht zwischen Sekundärrohstoffen von Typ A oder B mit Sonderausstattungen unterschieden wird. Die Demontage der Rückstände erfolgt in Abhängigkeit von deren Komplexität vorrangig in Gruppen- oder Reihendemontagen. Die Fertigung und Erzeugung der Sekundärrohstoffe weist aufgrund des unbestimmten und unvorhergesehenen Charakters der Rückstände einen geringen Strukturierungsgrad auf, so dass eine Fließfertigung schwer umzusetzen ist und vielmehr in Gruppen oder Inseln vollzogen wird.

In dem beschriebenen Zusammenhang in der Rückführungslogistik kann eine Verbindung von der Auftragsauslösung, die wesentlich von der Sammlung und dem Bezug von Rückständen geprägt ist und der Fertigung, die von den qualitativen und quantitativen Merkmalen der Rückstände abhängig ist, gezogen werden. Wie bereits erwähnt, ist die Art der Auftragsauflösung für die Fertigungssteuerung ein bestimmendes Kriterium.

Programmorientierte Massenfertiger können aufgrund verlässlicher Prognose- und Erfahrungswerte mit langfristigen Planungshorizonten eine frühzeitige Fertigungsreihenfolge bestimmen und somit einen ruhigen Fertigungsablauf gewährleisten. In der hier beschriebenen kundenanonymen und erwartungsorientierten Problematik liegen die Verhältnisse für eine lang- oder mittelfristig geplante Fertigungssteuerung anders. Mit den unbekannten Eingangs- und Inputvariablen²⁷² sinkt die Wahrscheinlichkeit für die Umsetzung eines Fertigungsplans umgekehrt proportional zu dessen zeitlicher Erstellung.

²⁷² Mit Eingangsvariablen werden die Sammlung und der Bezug von Rückständen verbunden. Die Inputvariablen meinen hingegen die entscheidenden qualitativen und quantitativen Merkmale der Rückstände für die Fertigungssteuerung.

Die geschilderte Darstellung gibt in diesem Zusammenhang Anknüpfungspunkte für den Einsatz von MAS. MAS können zur Verbesserung eines gültigen Fertigungsplans helfen, um die volatilen Eingangs- und Inputvariablen mit Hilfe der Agententechnologie zu glätten und so die Planstabilität in der Fertigung erhöhen. Eine geringe Planstabilität ist stets mit hohem Umplanungsaufwand verbunden, während eine hohe Planstabilität bei kleineren Störungen oder Abweichungen mit Hilfe von MAS den Umplanungsaufwand wirksam verringert.²⁷³

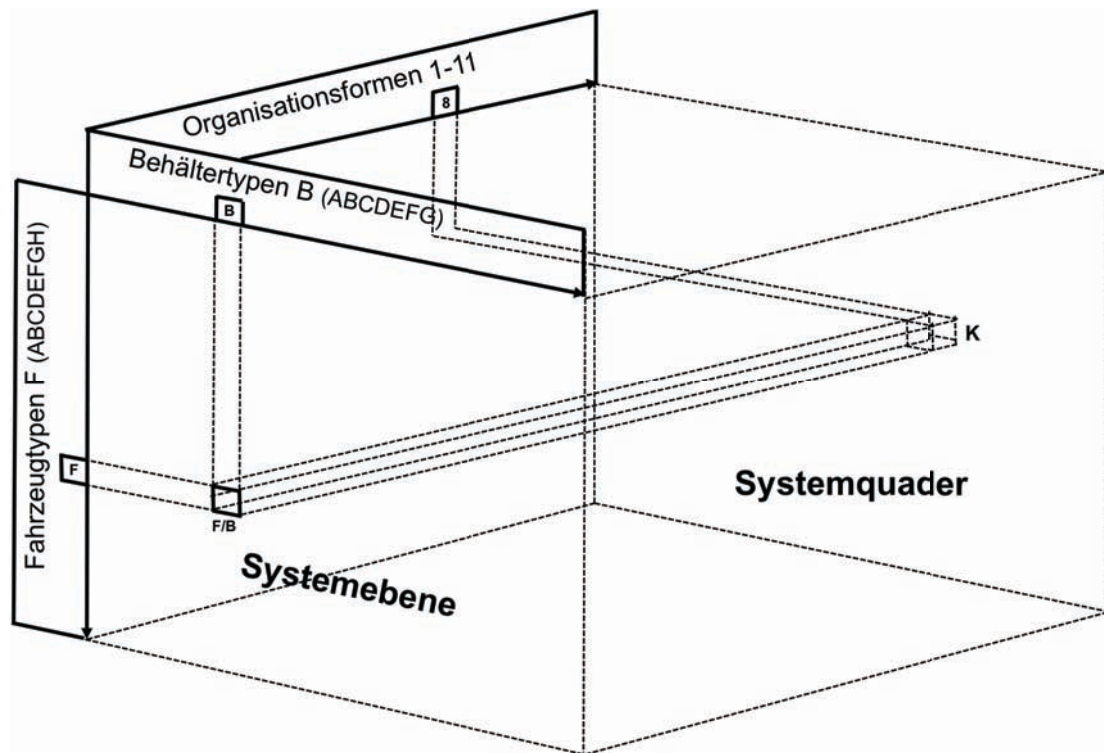
4.6.2 Reale Konzepte der Rückführungslogistik

Die Kombination verschiedener technischer Elemente zur rückführungslogistischen Leistungserstellung realisiert die räumlichen und zeitlichen Transferprozesse zu technischen Systemen, die sich beispielsweise in MAS widerspiegeln. In Verbindung mit verschiedenen Organisationsformen werden unterschiedliche oder gegensätzliche Konzepte für die Leistungserstellung der Rückführungslogistik erzeugt, welche die verschiedenen Grundstrukturen der praktisch oder theoretisch möglich dargestellten Güterflußlinien und Güterkreisläufe abbilden.

Die Ausprägungsformen der realen Konzepte in der Rückführungslogistik stellen zumeist auf die zu behandelten Stoffarten und Organisationsformen ab. Die Stoffart adressiert den behandelten Einzelstoff wie beispielsweise Papier oder Stoffkombinationen wie beispielsweise Metall oder Glas, die zu erfassen, zu sammeln und in der Folge aufgearbeitet und aufbereitet werden. Für die logistische Leistungserstellung der jeweiligen Stoffarten sind verschiedene Varianten der Behälter- und Fahrzeugtechnik notwendig. Die Kombination der Techniken und die Verbindung mit unterschiedlichen Organisationsformen bilden reale Konzepte der Rückführungslogistik. Vor dem Hintergrund der Auswahl und Verknüpfung der jeweiligen Techniken und Formen wird ein Systemquader gebildet, in dem sich die reale Konzeption befindet. In Abbildung 21

²⁷³ Vgl. Lieske 2005, S. 12-13.

wird dargestellt, wie der Systemquader ein stoffart- und organisationsformbezogenes Konzept K spezifiziert.²⁷⁴



	Behältertypen B (ABCDEF)	Fahrzeugtypen F (ABCDEFGH)	Organisationsformen
A	Mehrweg- oder Einwegbehälter	Sammel- oder Transportfahrzeug	1
B	Wechsel- oder Umleerbehälter	SAFz: Wechsel- oder Umleersystem Tfz: Tauschbarer oder fester Ladungsträger	2
C	Mehrkammer- oder Einkammerbehälter	Ein- oder Mehrkammerfahrzeug	3
D	Verdichtend/nicht verdichtend	Festaufgebauter oder tauschbarer Ladungsträger	4
E	Art der Aufnahmetechnik	Verdichtend/nicht verdichtend	5
F	Ausführungsform/Mobilität	Front-, Seiten-, Heck- oder Multilader	6
G	Größe	Manuelle oder automatische Beladung	7
H		Größe/bes. Ausprägungsform	8
			9
			10
			11

Abbildung 21: Morphologische Darstellung der Ausprägungsformen von stoffart- und organisationsformbezogenen Konzepten der Entsorgungslogistik (Quelle: Angepasste Darstellung in Anlehnung an Kirchhoff 1997, S. 53)

²⁷⁴ Vgl. Kirchhoff 1997, S. 52.

In der Abbildung ist zu erkennen, wie auf der Systemebene die Kombination der Merkmale erfolgt. Die anschließende Verbindung mit der jeweiligen Organisationsform ermöglicht die Ableitung einer denkbaren Konzeption für die rückführende Logistik im Systemquader. Der gewählte und identifizierte Konzeptpunkt K bildet den Ansatzpunkt für die Bildung und Ausgestaltung sowie einer möglichen Installierung von MAS, die im weiteren Verlauf der Arbeit beschrieben wird.

4.6.3 Beispiele der rückführenden Logistik

Einen weiteren Einblick zum Ansatz und Einsatz von MAS geben folgende Beispiele. Die Beispiele schließen übergreifend die Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse ein. Die praktische Darstellung der auftretenden Güterrückflüsse steht im Vordergrund.

4.6.3.1 Bauindustrie/Rückbau von Gebäuden

Die Bauwerkserstellung induziert einen sehr hohen Rohstoffbedarf mit größten Stoffmengen, die sich wiederum bei der Bauwerksauflösung und dem Rückbau von Gebäuden in der Abfallentstehung²⁷⁵ niederschlagen. Der jährliche Rohstoffabbau in Deutschland für die Produktion im Hoch- und Tiefbau quantifiziert sich auf mehr als 1 Milliarde Tonnen.²⁷⁶ Der Reststoffanfall, für den in den vergangenen Jahren Entsorgungslösungen aufgebaut und Kreislaufwirtschaftskonzepte für die Verwertung der Stoffe entwickelt wurden, beträgt über 300 Millionen Tonnen.

²⁷⁵ „Im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz handelt es sich dabei um (Bau-) Abfälle. [...]“ Schultmann 2003, S. 56. „Der Begriff *Bauabfälle* umfasst Straßenaufbruch, Bauschutt, Baustellenabfälle sowie Bodenaushub. Die weiteren Ausführungen beschränken sich im wesentlichen auf sogenannten *Bauschutt* aus dem Abbruch bzw. der Sanierung von Gebäuden. Der Begriff Bauschutt findet sich in jüngeren Regelwerken nicht mehr. Im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes handelt es sich dabei je nach stofflicher Zusammensetzung um Abfall zur Verwertung bzw. Abfall zur Beseitigung.“ Schultmann 2003, S. 57. „Da der Begriff Abfall oftmals mit einem negativen Image behaftet ist, werden im Folgenden auch weiterhin die Begriffe wie Reststoff oder Sekundärrohstoff verwendet, die terminologisch besser die Möglichkeiten einer erneuten Verwendung dieser Stoffe im Rahmen der Kreislaufwirtschaft zum Ausdruck bringen.“ Schultmann 2003, S. 56.

²⁷⁶ Vgl. Schultmann 2003, S. 56. Vgl. hierzu auch Tröger 1997.

Der Bauwirtschaft kommt daher in der Kreislaufwirtschaft eine Schlüsselrolle zu. Die Bemühungen in diesem Sektor waren in der zurück liegenden Zeit auf die Reststoffverwertung des Tiefbaus geprägt. Dabei haben sich gute Verwertungswege und technisch ausgereifte Recyclingtechnologien etabliert. Schwierigkeiten bereiten jedoch die Reststoffe des Hochbaus, die durch den Abbruch, Umbau oder Sanierung von Gebäuden und Bauwerken entstehen. Sie stellen meist ein heterogenes Gemisch dar, welches Stör- oder Schadstoffe²⁷⁷ enthält, die eine qualitativ hochwertige Verwertung verhindern. Aufgrund dieser Belastungen können aus diesen zusammengesetzten Abbruchmassen keine förderlichen Sekundärrohstoffe hergestellt werden und müssen zu großen Teilen dem Stoffkreislauf entzogen oder minderwertig aufbereitet werden.²⁷⁸ Abbildung 22 zeigt Stoffkreisläufe im Bausektor, die für die Konzipierung sowie Aus- und Gestaltung für MAS in Anlehnung dienen.

²⁷⁷ „*Störstoffe* bezeichnen dabei qualitätsmindernde Bestandteile für die Verwertung mineralischer Reststoffe. *Schadstoffe* sind demgegenüber toxische und umweltgefährdende Stoffe.“ Schultmann 2003, S. 57.

²⁷⁸ Vgl. Schultmann 2003, S. 56-58.

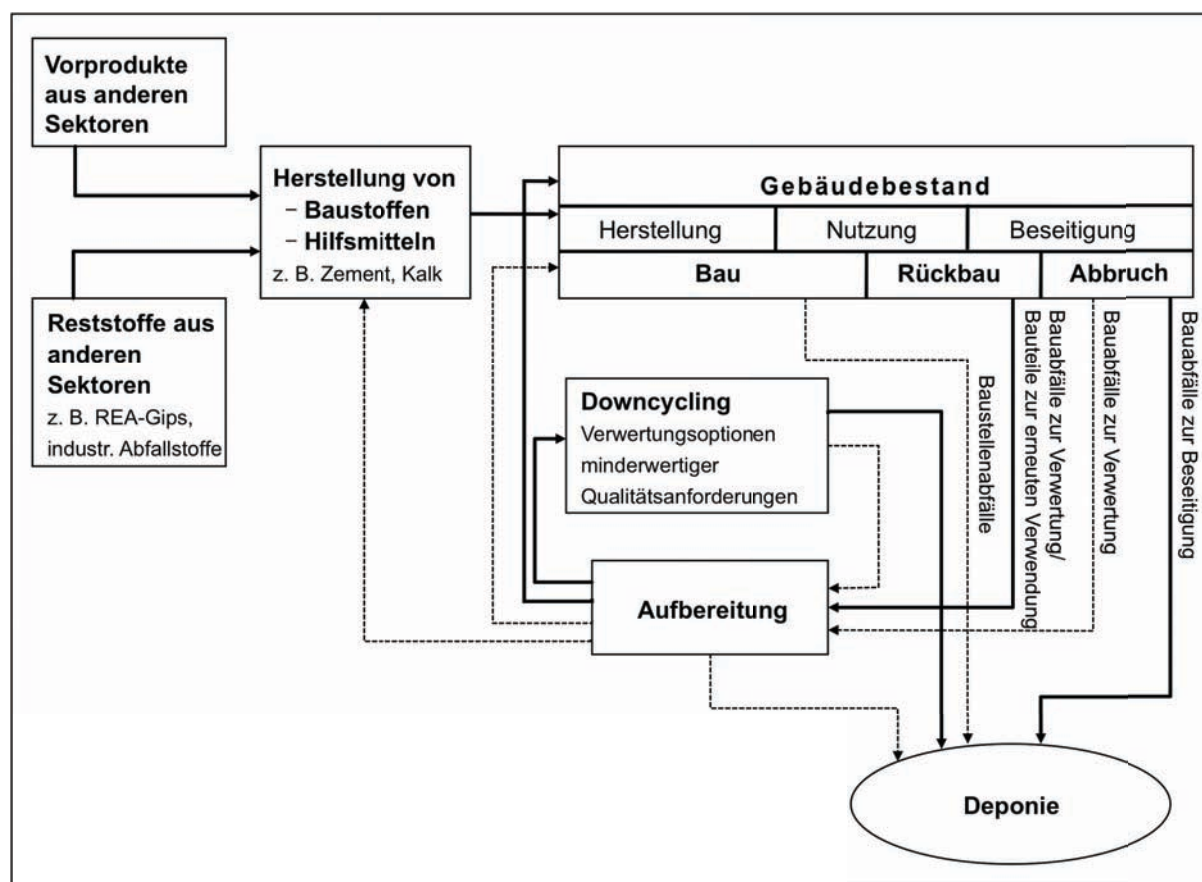


Abbildung 22: Stoffkreisläufe im Bausektor (Quelle: Schultmann 2003, S. 57)²⁷⁹

Die Strategien zur Kreislaufführung in diesem Sektor sind auf die verwertungsgerechte und abfallarme Produktion eines Bauwerks ausgerichtet. Die Entwicklung kreislauffähiger Konzepte soll sich auf das künftige Bauen und dem heutigen Gebäudebestand orientieren. Bei der Konzipierung wird die besondere Berücksichtigung des vorangestellten Demontageprozesses vorgeschlagen, da bei diesem Wertstoffe zurück gewonnen sowie Schad- und Störstoffe von verwertbaren Bestandteilen gezielt getrennt werden.

Schultmann nennt diesen *selektiven Rückbau* von Bauwerken „[...] die partielle oder komplette Demontage eines Gebäudes in seine Bestandteile, wobei gut erhaltene Bauteile komplett wiederverwendet und die restlichen Baustoffe einer Aufbereitung zugeführt werden können.“²⁸⁰ Diese technische und organisa-

²⁷⁹ Vgl. hierzu ähnliche Darstellungen in Kohler et al. 1999, S. 141 oder Vogtländer et al. 2001, S. 347.

²⁸⁰ Schultmann 2003, S. 58.

torische Ausgestaltung der Demontage kann die Verwertungsqualität gezielt beeinflussen und die Verwertungskosten entscheidend verbessern.²⁸¹ Lösungsansätze für einen selektiven und recyclinggerechten Rückbau von Gebäuden werden in Abbildung 23 gezeigt.

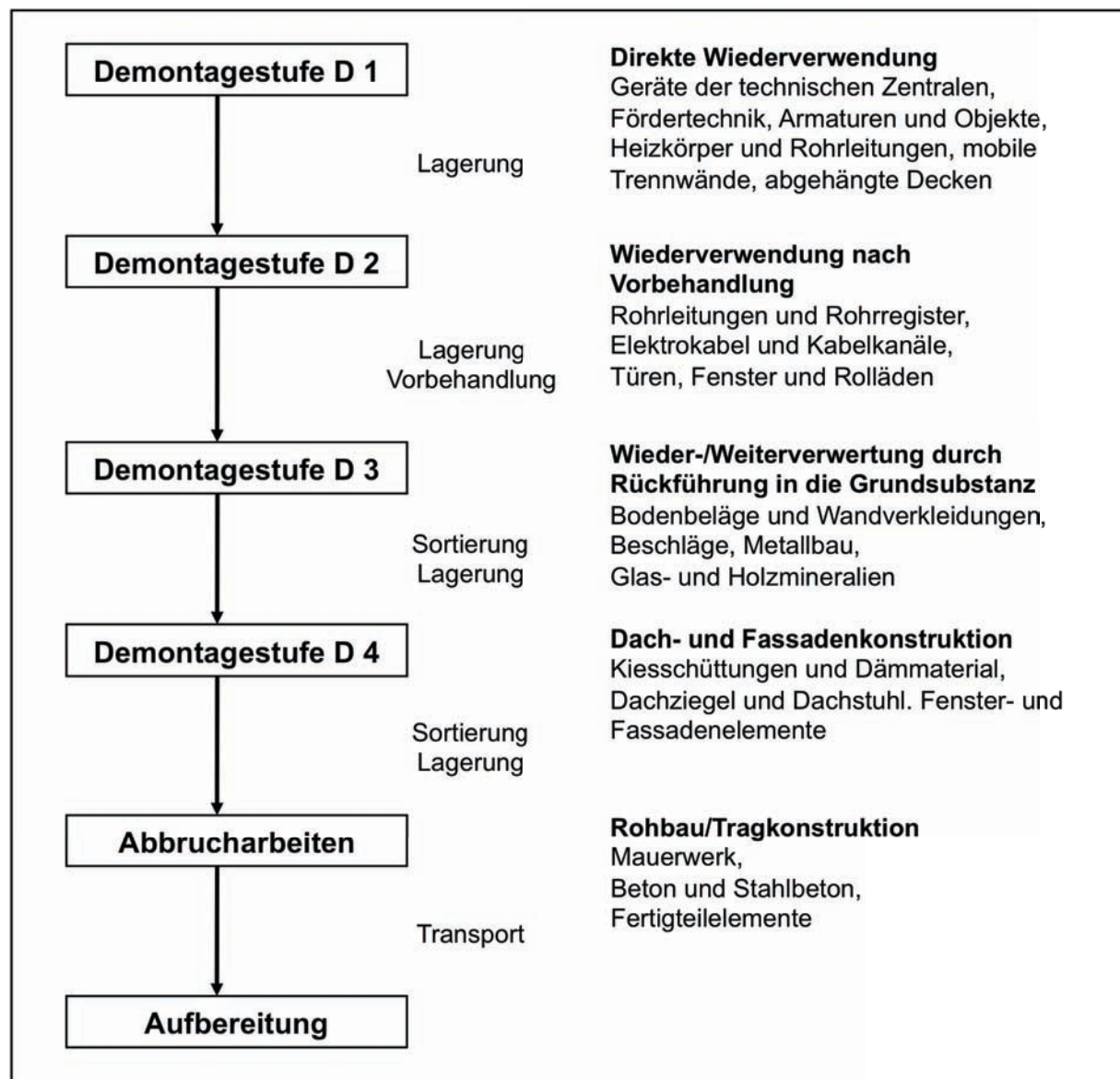


Abbildung 23: Ablaufstruktur eines selektiven Gebäuderückbaus (Quelle: Spengler 1994, S. 21)²⁸²

²⁸¹ Vgl. Schultmann 2003, S. 58.

²⁸² Vgl. hierzu auch Petzschmann 1987.

4.6.3.2 Altautoverwertung

In Deutschland fallen jährlich mehrere Millionen Altautos an. Diese müssen unter Zugrundelegung der Altautoverordnung²⁸³ demontiert und verwertet werden. Die Altautoverwertung ist vordergründig auf die Gewinnung von metallischen Rückständen ausgerichtet. Nichtmetallische Rückstände wie Kunststoff, Gummi, Glas oder Textil fallen als Reststoffe an und werden geschreddert, entsorgt und deponiert. Die Gründe sind die hohen Kosten für die Verwertung sowie der daraus resultierende geringe Gewinn und die zum Teil besondere Berücksichtigung schadstoffbelasteter und überwachungsbedürftiger Reststoffe.

Für die Altautoverwertung werden Konzepte von in- und ausländischen Automobilherstellern und Verbänden erarbeitet, die den Anforderungen der Vorschriften für die Automobilrückführung entsprechen. In Abbildung 24 ist ein vorgeschlagenes Konzept für die Altautoverwertung vorgestellt. Die Wirtschaftlichkeit dieser Konzepte hängt neben rechtlichen und logistischen Punkten davon ab, ob:²⁸⁴

- durch Standardisierung und Automatisierung der Demontage große Seriengrößen erreicht werden und so die Demontagezeiten und -kosten zu minimieren sind,
- qualitativ hochwertige Einsatzmöglichkeiten demontierter Bauteile und zugehörige Aufarbeitungs- und Aufbereitungstechniken bereit gestellt werden können und
- die Produktdemontage, die Bauteilaufarbeitung und -aufbereitung sowie deren Wieder- und Weiterverwendung oder Wieder- und Weiterverwertung optimal aufeinander abgestimmt sind.

²⁸³ Die Altautoverordnung trat am 01.04.1998 in Kraft. Vgl. www.bmu.de/bmu/presse-reden/pressemitteilungen/pm/artikel/altautoverordnung-tritt-am-1-april-1998-in-kraft/. Sie wurde durch die Altfahrzeugverordnung geändert und später durch das Altfahrzeuggesetz ersetzt. Vgl. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 41, ausgegeben zu Bonn am 28. Juni 2002, [http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//%5B@attr_id=%27bgbl102s2199.pdf%27%5D-__Bundesanzeiger_BGBI__%2F%2F*\[%40attr_id=%27bgbl102s2199.pdf%27\]__1388697210442_1388696891042](http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//%5B@attr_id=%27bgbl102s2199.pdf%27%5D-__Bundesanzeiger_BGBI__%2F%2F*[%40attr_id=%27bgbl102s2199.pdf%27]__1388697210442_1388696891042).

²⁸⁴ Vgl. Spengler 1994, S. 18.

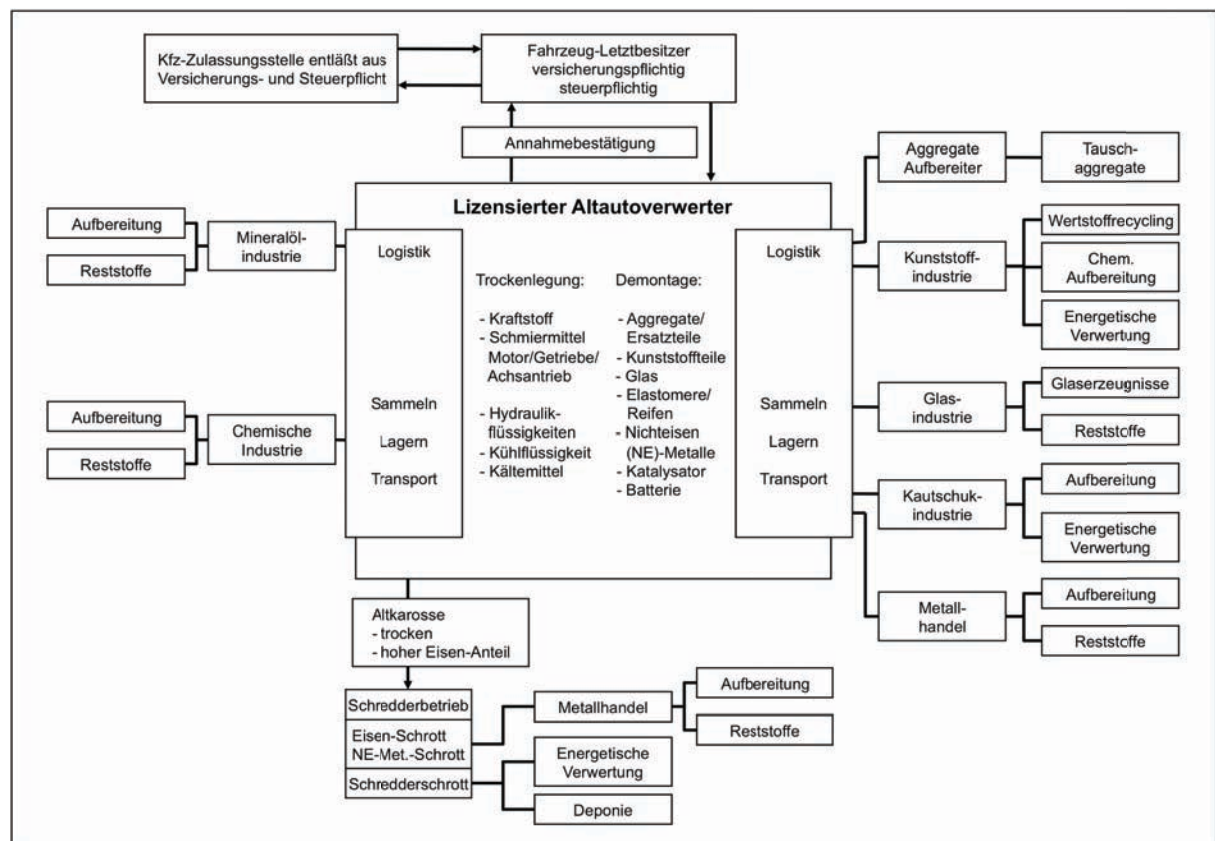


Abbildung 24: Konzept der Altautoverwertung des VDA (Quelle: Spengler 1994, S. 19)²⁸⁵

4.6.3.3 Elektronikschrottverwertung

Elektro- und Elektronikgeräte werden in Deutschland ebenfalls zu mehreren Millionen Tonnen entsorgt, beziehungsweise der Verwertung freigegeben. Dieser Anfall wird in der weiteren Zukunft nicht abfallen sondern anwachsen. Die stoffliche und materielle Zusammensetzung der Geräte und verwendeten Bauelemente ist sehr vielfältig und meist von den Herstellern nicht öffentlich dokumentiert.

Die eigentliche Entsorgung dieser Geräte erfolgt meist über die Sperrmüllabfuhr oder Hausmüllsammlung. Sie gelangen in Verbrennungsanlagen oder Deponien. Eine vergleichbare Altteilverwertung wie beispielsweise in der Automobilindustrie wird nur rudimentär durchgeführt und beschränkt sich auf die Gewinnung von Edelmetallen.

²⁸⁵ Vgl. hierzu auch VDA 1990.

Die vorliegende Elektronikschrottverordnung²⁸⁶, zielt auf die Erarbeitung von Demontage- und Verwertungskonzepten von allen Elektro-/Elektronikhersteller mit dem Ziel einer vollständigen Teileverwendung und -verwertung ab.

Anforderungen entstehen aus den vielfältig verwendeten Materialien und Baustrukturen der Geräte, die eine Entwicklung von einheitlichen Demontage- und Verwertungstechniken beeinträchtigt. Der Fokus liegt auf einer weitgehenden Normierung und Standardisierung von recyclinggerechten Produktstrukturen für eine automatisierte Demontage zum Beispiel mit Baukastensystemen, so dass eine zerstörungsfreie Zerlegbarkeit der Geräte gewährleistet wird und die Komponenten einer weiteren Nutzung zugänglich gemacht werden können.²⁸⁷

4.6.3.4 Altbatterien als sekundäre Rohstoffressourcen

Altbatterien sind ein komplexer Problemabfall, der aber durch seine hohen Wertmetallgehalte eine wertvolle sekundäre Rohstoffressource für die Metallgewinnung darstellt. Vor dem Hintergrund gesetzlich verschärfter Rahmenbedingungen und einem Recyclingvolumen von über 50 Milliarden weltweit anfallender und verbrauchter Gerätebatterien, müssen effiziente Techniken mit innovativen Lösungen wie zum Beispiel MAS die Materialströme begleiten, um prozess- und transportbedingte Störungen zu vermeiden.

Die Sicherstellung der Entsorgung und Verwertung von verbrauchten Batterien schafft ein hohes Rohstoffpotenzial. Der Rückflusstoffstrom dieser mobilen Energiequellen ist aber nicht klar definiert, da das Stoffgemisch der verschiedenen Batteriesysteme für verschiedene Anwendungen entwickelt wurde und nicht einheitlich behandelt werden kann. Die Bandbreite der metallenen Batterieinhalte beeinflusst das ökonomische und sinnvolle Recyceln und beinhaltet

²⁸⁶ Die Elektronikschrottverordnung, die im Entwurf für die Richtlinien 2002/96/EG und 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vorgelegen hat, wurde im Jahr 2005 in das Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG umgesetzt. Vgl. Bundesministerium der Justiz (2005): Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG. Internetabruf am 05.01.2013, <http://www.gesetze-im-internet.de/elektrog/>.

²⁸⁷ Vgl. Spengler 1994, S. 20.

die Frage, ob die Batterien als sekundäre Rohstoffquellen sinnvoll eingesetzt werden können.

Die Stoffströme in der Altbatterieverwertung bieten ein enormes Mengenpotenzial für die Rückführung von metallischen Grundstoffen wie Zink, Nickel oder Lithium. Auf Forschungsergebnisse zur Entwicklung, Verwertung und Wiederverwendung von Altbatterien wird in diesen Ausführungen nicht eingegangen.

Der verantwortungsvolle Umgang und die Rücknahme der Batterien durch Hersteller und Vertreiber sind nach den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und der Batterierichtlinie RL 2006/66/EG vom 26.09.2006 zahlenmäßig gestiegen. Der Sammelprozess und die stoffliche Verwertung von Gerätebatterien ist gesetzlich definiert, da Sammelquoten und Mindestwerte für Recyclingeffizienzen existieren.

Verwertung und Wiedereinsatz von Wertmetallinhalten von Altbatterien sind durch ineffiziente Prozesse gefährdet. Es ist umso mehr erforderlich, dass individuelle MAS zum Einsatz kommen, um verloren gehendes Potenzial mit Hilfe von effizienteren Prozesseinheiten oder Transportwegen einzugrenzen. Die Nutzung von MAS kann die Rückgewinnung von Materialien erleichtern und vereinfachen.²⁹⁰

4.6.3.5 IBM Case

Die Elektronikindustrie nimmt wie im vorangegangenen Beispiel dargestellt einen Schlüsselfaktor in der Rückführungslogistik ein. Stetig expandierende Marktvolumen und kürzere Produktlebenszyklen resultieren in einer großen Menge gebrauchter Elektronikprodukte, die verwertet oder aufgegeben werden müssen. Angesichts dessen ist die Annahme naheliegend, dass Rückstände aus der Elektronikindustrie ein vorrangiges Zielobjekt in einer nachhaltigen Produkt- und Materialverwendung sind. Ein modulares Produktdesign und die geringe Verschleiß- und Abnutzungserscheinung der elektronischen

²⁹⁰ Vgl. Rombach et al. 2008a, S. 180-185. Vgl. hierzu auch Vest et al. 2010 oder Rombach et al. 2008b et al.

Produkte und Komponenten sind vorrangiges Ziel, um die Wiederverwertbarkeit potentiell zu erhöhen.

In diesem Abschnitt wurden die Geschäftsaktivitäten von IBM betrachtet, die von *Dekker et al.* hervorgehoben werden, weil diese verschiedene Typen und Kategorien von Produktrückflüssen und Modellierungsansätze sowie Strategien für die Entscheidungsfindung in der Rückführungslogistik, die in Abschnitt 4.7.2.3 noch genannt werden, anwenden. Es handelt sich vorwiegend um Produkte, die mit Leasingverträgen vermarktet worden sind. Diese Produkte nehmen ein Volumen von über 35 Prozent des Hardwareverkaufs von IBM ein und fließen nach vereinbarter Nutzungsüberlassung in den Güterbestand von IBM zurück.

IBM hat Produktrücknahmeprogramme in verschiedenen Ländern z.B. in Nordamerika, Europa und Asien implementiert, die Geschäftskunden erlauben, gebrauchte Produkte kostenfrei oder mit einer geringen Abgabe behaftet, zurückzugeben. Für die Konsumenten ist das von Vorteil, da sie nicht an der Entfernung und Beseitigung der Altgeräte beteiligt und nicht dafür verantwortlich sind, da der Endgerätehersteller gefordert wird, im Sinne von Vorgaben einer nachhaltigen Umweltentwicklung, seine Erzeugnisse einer Endverwertung zuzuführen.

Neben dem geschäftlichen Umgang mit ge- und verbrauchten Produkten steht auch der Rückflussstrom von Neuprodukten im Fokus, die sich aus Überbeständen von Einzelhändlern oder stornierten Aufträgen ergeben. Diese Rückflüsse hängen sehr stark von vertraglichen Vereinbarungen entlang der Warenlieferungskette mit den jeweiligen Geschäftspartnern ab. Zuletzt sind die Ein- und Rückführungen von Ersatz- oder defekten Teilen erwähnenswert, die gelagert, verwendet repariert oder verwertet werden und Bestandteil eines serviceorientierten Geschäftsmodells sind.

Um die zunehmende Wichtigkeit der Rückführungslogistik zu erkennen, hat IBM bereits 1998 einen Geschäftsbereich eingerichtet, der verantwortlich für die interne Betriebsführung der weltweiten Produktrückflüsse ist. Das Haupt-

ziel dieser Geschäftsabteilung ist die zielführende Disposition von rückgeführten Positionen zur Maximierung des Wertbeitrags für das Unternehmen.

In Zahlen ausgedrückt, operiert IBM mit weltweit mehr als 25 Betriebsmöglichkeiten, in denen rückgeführte Positionen gesammelt, untersucht und einer geeigneten Verwertungsoption zugeführt werden. Identifizierte Geräte oder Ausstattungsmittel, Apparaturen und Teile werden in den Betrieben verwertend bearbeitet und in den Wirtschaftskreislauf zurück gebracht. Dafür betreibt IBM sogenannte „refurbishment centers“, die Produktpaletten und -sortimente für den Handel anbieten. Der Online-Vertrieb im Internet über Unternehmens- oder anderen öffentlich zugänglichen Seiten hat ebenfalls stark zugenommen und stellt einen wichtigen Verkaufskanal für wiederhergestellte und aufgearbeitete und aufbereitete Produkte dar. Gemäß den Angaben beträgt der Anteil nicht wiederverwendeter Materialien unter vier Prozent.

Nach den Aussagen in der Literatur und Praxis kann festgehalten werden, dass eine Differenz zwischen dem unternehmens- und wirtschaftlich betriebenen Bereich und dem Konsumentensektor hinsichtlich des Rückgabeverhaltens²⁹¹ und der Marktvolumina besteht und beide Gruppen ein unterschiedliches Verhalten zeigen. Um diesem individuellen Verhalten entgegenzutreten, beteiligt sich IBM zum Beispiel mit unternehmensübergreifenden und internationalen Kontakten sowie Verbindungen zu verschiedenen Ländern und Unternehmen, um den Ineffizienzen im geschäftlichen Bereich zu begegnen.

Im Ausland ist IBM in Systemen integriert, welche Produkte von Kommunalverwaltungen oder anderen Stellen entgegen nehmen und sammeln sowie den Recyclingfirmen übergeben. Die Transport- und Recyclingkosten werden entsprechend den anteiligen Verhältnissen verteilt. In den USA ist IBM in ein Rückführungssystem integriert, bei dem Konsumenten über ein Versandunternehmen nicht mehr gebrauchte Produkte zur Rücknahme oder sogar für wohltätige Zwecke übergeben können.²⁹²

²⁹¹ Vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 2.4.2.7.

²⁹² Vgl. Fleischmann et al. 2004, S. 66-67.

4.7 Multiagentenbasierte dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik

Die steigende Komplexität der Produktionsprozesse und vor allem die Materialversorgung in der Sekundärrohstoffproduktion stellen an die Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme mit den genannten Beispielen hohe Anforderungen. Die Komplexität und die Problematik der Materialverfügbarkeit in der Sekundärrohstofflogistik resultieren aus der Dezentralisierung im Bereich der Redistribution, aus der Ungenauigkeit der Prognose von Materialrückflüssen aber auch aus störenden und unvorhergesehenen Ereignissen. Zentrale Systeme können diese Anforderungen nicht effizient erfüllen. Für die wirkungsvolle Gestaltung der Prozesse in produktionslogistischen Systemen, wird in der Literatur eine Dezentralisierung der Produktionsplanungs- und Steuerungsfunktionen vorgeschlagen, die ein komplexes Gesamtproblem in einfache Teilprobleme gliedert. Die dezentralen Organisationseinheiten befinden sich in unmittelbarer Nähe zu den Prozesseinheiten und können zielorientiert die benötigten Informationen für die Problemlösung abrufen. Die jeweils zu verarbeitenden Informationsmengen sind im Gegensatz zu einer zentralen Problemstellung geringer und dadurch schneller lösbar. Im Ergebnis werden die rational und schnell entwickelten Teillösungen von einer koordinierenden Instanz wie etwa einem Moderator oder Operator zu einer Gesamtlösung zusammengefügt, was sich positiv auf die Problemlösung im Gesamtsystem auswirkt.

Multiagentensysteme können aufgrund ihres dezentralen Charakters bei der Komplexitätsbeherrschung und bei der Materialversorgung in der Sekundärrohstoffproduktion hilfreich sein.²⁹³ Für die Berücksichtigung dynamischer Umfeldbedingungen werden die vorgeschlagenen dynamischen Dispositionsmethoden in ein MAS integriert. Für die Betrachtung des Gesamtsystems der Rückführungslogistik erstreckt sich das MAS über alle Prozesseinheiten der Sekundärrohstofflogistikkette.

²⁹³ Vgl. Franke et al. 2010, S. 1075-1076 und Lieske 2005, S. 25-26. Vgl. hierzu auch Zimmermann 2008; Fischer 2004 oder Mönch 2006a.

Die Erarbeitung und Beschreibung eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems für die Sekundärrohstofflogistik sieht vor, ein Konstrukt zu erstellen, in dessen Rahmen eine marktgerechte und umfeldbedingte Produktion von Sekundärrohstoffen stattfinden kann. Dazu ist es erforderlich, die Architektur eines MAS für die Sekundärrohstofflogistik zu beschreiben und die dynamische Disposition darzustellen. Die Durchführung der Disposition kann mit verschiedenen Algorithmen und Dispositionsszenarien erfolgen. Diese werden beispielhaft dargestellt und eingeordnet. Abschließend werden die Ergebnisse und der Nutzen der Arbeiten aufgezeigt.

Die detaillierte Erarbeitung und Beschreibung des Systems wird in den folgenden Abschnitten behandelt.

4.7.1 Architektur eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems

4.7.1.1 Methodisches Vorgehen

Für die Architektur eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems ist ein strukturiertes Vorgehen erforderlich. Zunächst wird ein grundsätzliches Konzept aufgebaut, in dem die Begriffe Agent und MAS für das Verständnis dieses Vorgehens eingeordnet und der grundlegende Aufbau und die Funktionsweise eines multiagentenbasierten Systems im Rahmen der Thematik skizziert werden. Im nächsten Schritt werden Standard-Architekturen identifiziert, die für den Aufbau von MAS Anwendung finden können. Darauf aufbauend wird das multiagentenbasierte System für die Sekundärrohstofflogistik mit Agententypen, Kommunikations- und Transferprotokollen sowie mit einer Ontologie zum Datenaustausch konkretisiert. Anschließend wird die dynamische Disposition in das Vorgehen integriert und die Durchführung mit Algorithmen und Heuristiken sowie mit verschiedenen Dispositionsszenarien unterlegt.

Das methodische Vorgehen wird exemplarisch in Form eines Phasenmodells in Abbildung 25 dargestellt und im weiteren Verlauf der Arbeit erarbeitet und beschrieben.

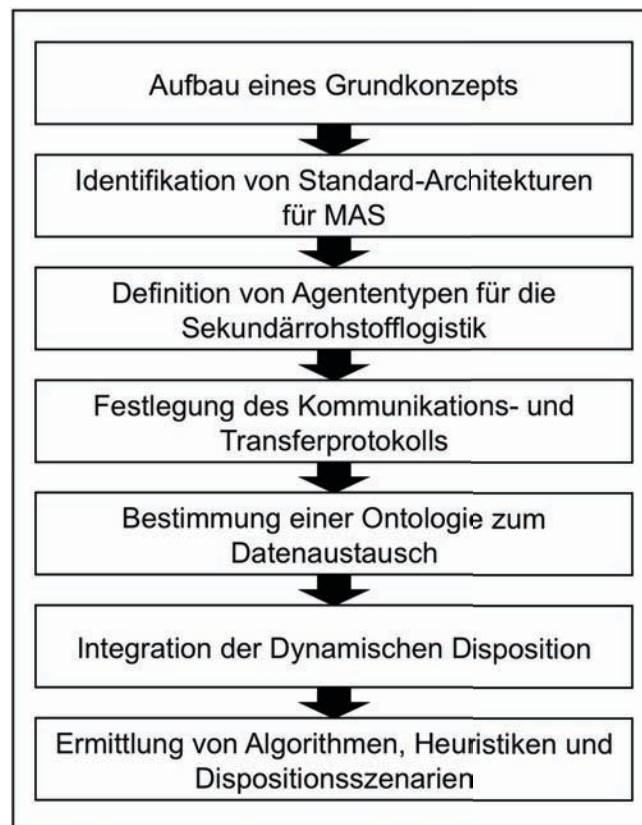


Abbildung 25: Phasenmodell für die Architektur eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems in der Sekundärrohstofflogistik

4.7.1.2 Grundkonzept

In Ergänzung zu Abschnitt 3.3.2 dieser Arbeit werden eine begriffliche Eingrenzung und ein Blick auf den grundsätzlichen Aufbau eines MAS vorgenommen. Abbildung 26 zeigt, wie der Begriff des Multiagentensystems definiert wird.

Definition: Der Begriff Multiagentensystem (MAS) bezeichnet ein System, das aus folgenden Elementen besteht:

1. Eine Umwelt E . E ist ein Raum, der im Allgemeinen ein Volumen hat.
2. Eine Menge von Objekten, O . Diese sind situiert, das bedeutet, dass zu einem beliebigen Zeitpunkt jedem Objekt eine Position E zugewiesen werden kann. Objekte können von den Agenten wahrgenommen, erzeugt, modifiziert und gelöscht werden.
3. Eine Menge von Agenten, A . Diese repräsentieren die aktiven Objekte ($A \subseteq O$)
4. Eine Menge von Beziehungen, R , die Objekte miteinander verbinden.
5. Eine Menge von Operationen, Op , damit Agenten Objekte empfangen, erzeugen, konsumieren, verändern und löschen können.
6. Operatoren mit der Aufgabe, die Anwendung dieser Operationen und die Reaktion der Umwelt auf die entsprechenden Veränderungsversuche darzustellen. Operatoren werden als die Gesetze des Universums bezeichnet.

Abbildung 26: Definition eines Multiagentensystems (Quelle: Ferber 2001, S. 31)

Die wichtigsten Elemente in einem MAS sind die menschlichen und software-basierten Agenten. Die Definition eines Agenten ist in Abbildung 27 dargestellt.

Definition: Ein Agent ist eine physische oder virtuelle Entität:

1. die selbständig in einer Umwelt agieren kann,
2. die direkt mit anderen Agenten kommunizieren kann,
3. die durch eine Menge von Absichten angetrieben wird (in Form von individuellen Zielen, Befriedigungs- und Überlebensfunktionen, die sie versucht zu optimieren),
4. die eigene Ressourcen besitzt,
5. die fähig ist, ihre Umwelt wahrzunehmen (allerdings nur in einem bestimmten Ausmaß),
6. die nur eine partielle Repräsentation ihrer Umwelt besitzt,
7. die bestimmte Fähigkeiten besitzt und Dienste offerieren kann,
8. die sich ggf. selbst reproduzieren kann,
9. deren Verhalten darauf ausgerichtet ist, ihre Ziele unter Berücksichtigung der ihr zur Verfügung stehenden Ressourcen und Fähigkeiten zu befriedigen und die dabei auf ihre Wahrnehmung, ihre internen Modelle und ihre Kommunikation mit anderen Agenten (oder den Menschen) angewiesen ist.

Abbildung 27: Definition eines Agenten (Quelle: Ferber 2001, S. 29)

Zum besseren Verständnis und in Anlehnung an die Gliederung von Agenten von *Fischer* in Abschnitt 3.3.2.1 wird für die weiteren Ausführungen die Annahme getroffen, dass für die Architektur des multiagentenbasierten Systems im Bereich der rückführenden Logistik Softwareagenten verwendet werden. Softwareagenten, in den weiteren Ausführungen kurz Agent genannt, sind menschliche Akteure und Computerprogramme oder Softwaresysteme, die für ein Zielobjekt oder -subjekt definierte Aufgaben lösen. Softwareagenten führen ihre Aufgaben im Internet oder im Intranet in einem Netzwerk mehrerer oder eines Unternehmens aus. Das Wesen von Softwareagenten unterscheidet sich von herkömmlichen Computerprogrammen oder Softwaresystemen durch ihre zugeordneten spezifischen Eigenschaften wie Reaktivität, Autonomie, Sozialibilität oder Rationalität.²⁹⁴ Ein Agent und insbesondere ein Softwareagent eignen sich für den Einsatz im Bereich der rückführenden Logistik sowie für viele weitere Gebiete, weil sie neben den betrachteten Attributen intelligente

²⁹⁴ Vgl. Fischer 2004, S. 89-91; Shaw 2000 und Abschnitt 3.3.2.1. Vgl. hierzu auch Brenner et al. 1998 und Caglayan/Harrison 1998.

Fähigkeiten aus dem Bereich der VKI²⁹⁵ mitbringen, die für die Lösung komplexer Probleme in der Sekundärrohstofflogistik geeignet sind. Das Konzept und die Bereiche von denen die Softwareagenten in ihrer Intelligenz beeinflusst werden, sind in Abbildung 28 verdeutlicht.

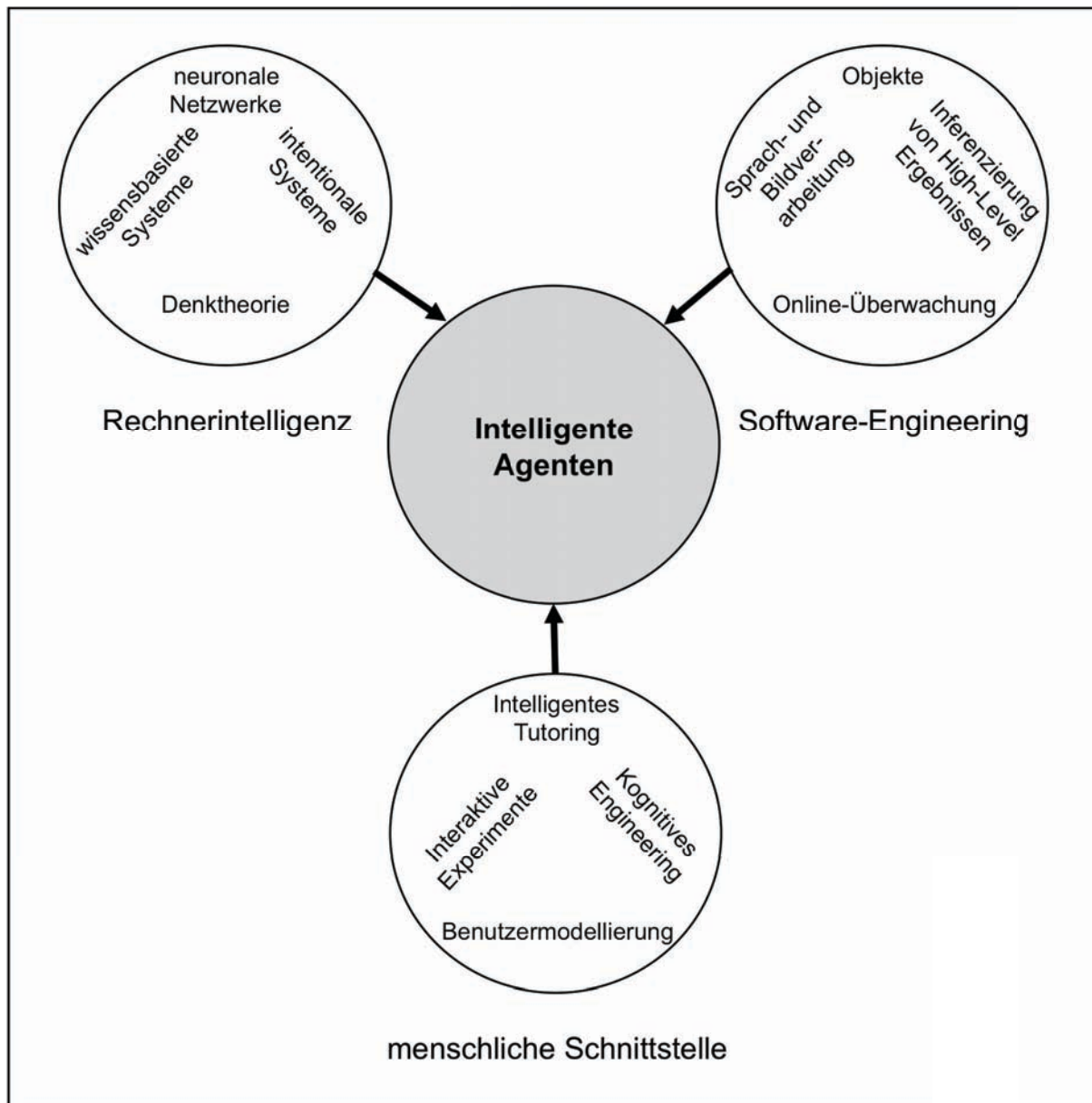


Abbildung 28: Einflussbereiche für intelligente Softwareagenten (Quelle: Caglayan/Harrison 1998, S. 11)

²⁹⁵ Vgl. zur VKI Abschnitt 3.3.2.1.

Der Aufbau eines Agenten wird in der Literatur vielseitig beschrieben. Im Wesentlichen besitzt er drei Funktionsbereiche, die in Abbildung 29 dargestellt sind.

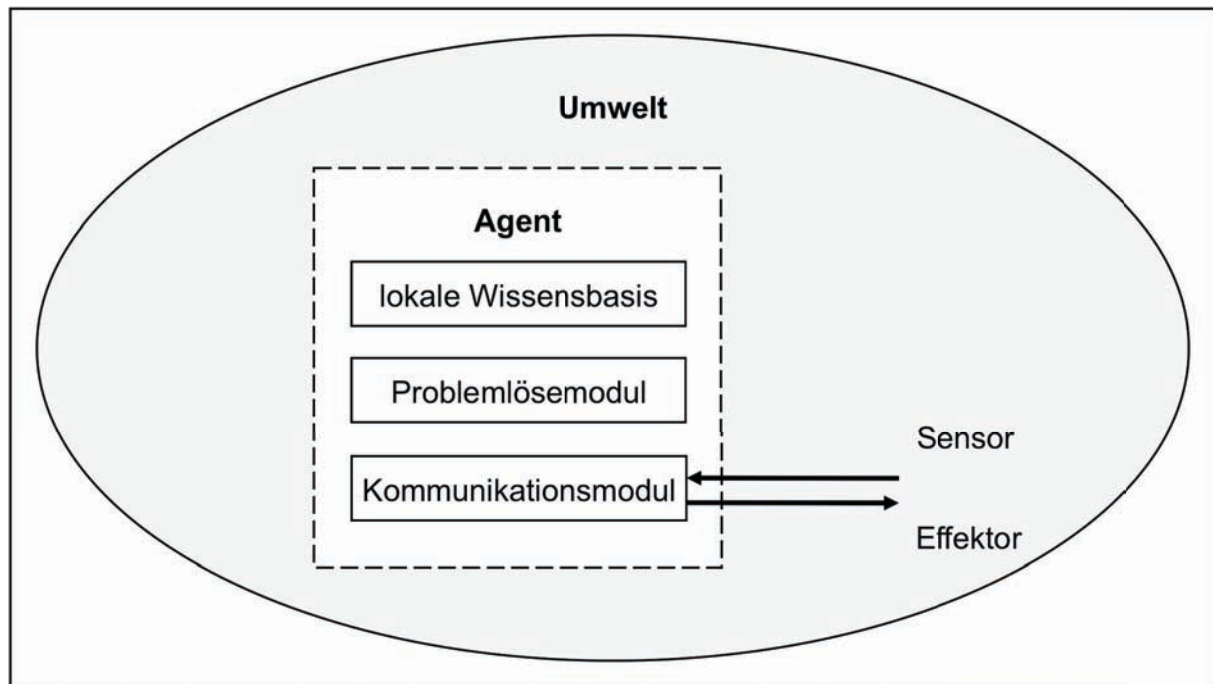


Abbildung 29: Grundelemente eines Agenten (Quelle: Lieske 2005, S. 30 und Hilmer 2000, S. 74)

In der lokalen Wissensbasis werden das Wissen und die Erfahrungen eines Agenten abgespeichert. Darin befindet sich auch das Zielsystem, nach dem die Agenten handeln. Das Problemlösemodul enthält Verhaltensregeln und Vorgehensweisen, welche der Agent dazu nutzt, äußere Reize, Arbeitsanweisungen oder Problemstellungen mit Hilfe seines Wissens und seiner Erfahrungen zu verarbeiten oder zu lösen. Das Kommunikationsmodul dient dem Agenten zur Aufnahme und zum Empfang von externen Signalen (Sensor) und zum Versand von Antworten und Reaktionen an seine Umwelt (Effektor).²⁹⁶

Die Idee, die hinter Multiagentensystemen steckt, ist die Nutzung der Fähigkeiten der Agenten für eine kooperierende Problemlösung. Dazu wird in Form

²⁹⁶ Vgl. Lieske 2005, S. 29; Kirn 2002, S. 57-58; Chen et al. 1998, S. 2123-2124 und Siko-ra/Shaw 1997, S. 176-177.

einer Arbeitsteilung eine Aufgabe in mehrere Teile zerlegt und durch die Agenten gemeinsam gelöst, was wiederum auf zwei Ebenen erfolgt.²⁹⁷

- Die Intraagentenebene betrachtet die Erfüllung einer Teilaufgabe eines einzelnen Agenten.
- Die Interagentenebene koordiniert das Zusammensetzen der erfüllten Teilaufgaben zu einer Gesamtlösung.

In Bezug auf die Kommunikation und Interaktion zwischen den Agenten können zwei bekannte Systemarchitekturen unterschieden werden. Die Blackboard-Architektur und die Message- oder auch Kontraktnetz-Architektur. Die Blackboard-Architektur nutzt für die Kommunikation zwischen den Agenten eine zentrale „Tafel“ oder auch Blackboard. Das Blackboard ist eine gemeinsame Datenbank auf deren Inhalte alle Agenten zugreifen können. Sie können Mitteilungen an alle anderen Agenten am metaphorischen Blackboard hinterlassen und alle anderen Mitteilungen einsehen. Das Ziel eines Blackboardsystems ist die gemeinsame Arbeit an einer zentralen Agenda für die Lösung eines Problems, wobei jeder Agent bestrebt ist, die Lösung eines Teilproblems zu übernehmen und damit an der Gesamtlösung beizutragen.²⁹⁸

Das Blackboard hat zugleich Informations- und Koordinationsfunktion, indem es:²⁹⁹

- das zu lösende Gesamtproblem und die bereits durch die Agenten erarbeiteten Teilprobleme in einer für alle Agenten lesbaren Form abbildet,
- die indirekte Kommunikation der Agenten ermöglicht und
- Konflikte löst und Inkonsistenzen verhindert, die durch gleichzeitige Agentenzugriffe auf das Blackboard entstehen können.

Eine in das Blackboardsystem integrierte Steuerungs- und Kontrollinstanz unterbindet zudem die gleichzeitige Bearbeitung desselben Teilproblems, indem es ein Teilproblem genau einem Agenten zuordnet. Der Bearbeitungsprozess

²⁹⁷ Vgl. Gössinger 2000, S. 90-91.

²⁹⁸ Vgl. Lieske 2005, S. 36 und Gössinger 2000, S. 91-92.

²⁹⁹ Vgl. Gössinger 2000, S. 92 und Scholz-Reiter/Höhns 2006, S. 665.

ist dann beendet, wenn keine weiteren Teilprobleme generiert werden können und das Ziel der Problemlösung erreicht ist.³⁰⁰ Abbildung 30 zeigt den Aufbau eines Blackboardsystems.

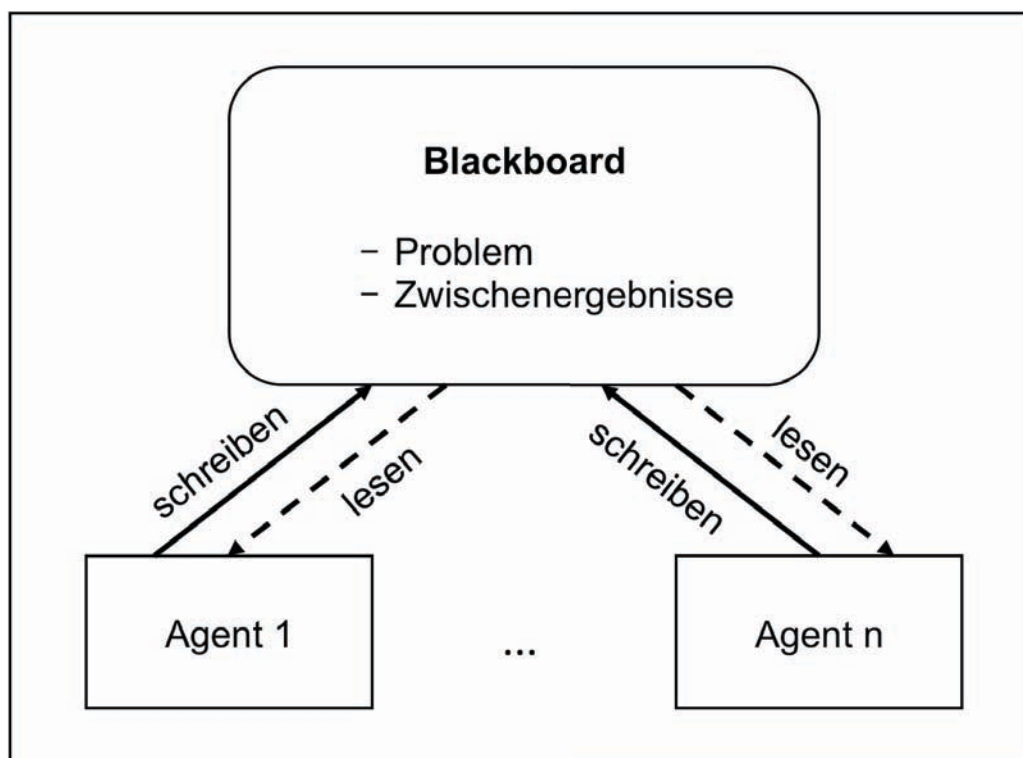


Abbildung 30: Blackboardsystem (Quelle: Gössinger 2000, S. 92)

Bei den Message- oder Kontraktnetz-Architekturen findet zwischen den Agenten ein multidirektionaler Informationsaustausch statt. Die Agenten kommunizieren durch direkte oder indirekte Übertragung von Nachrichten. Die Kommunikation zwischen den Agenten setzt dabei voraus, dass sie als Sender und Empfänger von Nachrichten agieren. In der Rolle des Senders müssen die Agenten über die Anwesenheit weiterer Agenten und über die Adressierung zur Nachrichtenübermittlung informiert sein. Die sequentielle Nachrichtenübertragung, in der die Agenten mehrfach die Rolle des Senders und Empfängers übernehmen, wird Dialog genannt.³⁰¹ Die Dialogpartner müssen während der Kommunikation über folgende Aspekte Klarheit besitzen:³⁰²

³⁰⁰ Vgl. Lieske 2005, S. 36 und Gössinger 2000, S. 93.

³⁰¹ Vgl. Gössinger 2000, S. 95; Lieske 2005, S. 37 und Ahrens 1998, S. 90-91 und 95.

³⁰² Vgl. Lieske 2005, S. 37-38 und Albayrak/Bussmann 1993, S. 70.

- Kommunikationsthema,
- Kommunikationsprozess³⁰³,
- Format- und Semantikdefinition der Nachrichten³⁰⁴,
- Dialogkonventionen,
- Wissen über Kommunikation als Prozess und
- Kommunikationsablauf.

Eine erweiterte Form der Kommunikation findet in Kontraktnetzen statt. Hierbei erfolgt der Informationsaustausch zwischen den Agenten in Form von physischen oder technologischen Verhandlungen. Aufgrund des höheren Kommunikationsbedarfes bei Verhandlungen ist eine detaillierte Kommunikationsstruktur erforderlich. Das heißt die Agenten müssen mit Fähigkeiten zu Verhandlungsführungen und Verhandlungsdialogen ausgestattet sein oder müssen dazu befähigt werden. Der Aufbau der softwarebasierten Agenten muss zudem um einen Kontraktprozessor erweitert werden, welcher für die Abwicklung der eigen- und fremdinitiierten Verhandlungen verantwortlich ist und den Kontraktprozess überwacht. Den Kern des Kontraktnetzsystems bildet das Kontraktprotokoll. Es umfasst alle Regelungen, die für die Abstimmungen zwischen den Agenten in den Kontraktprozessen notwendig sind, wie beispielsweise die Teilnahme an Verhandlungen, die Form des Austauschs und die Reihenfolge der Nachrichten oder die Auswahl der Kontraktpartner. Abbildung 31 gibt einen Überblick zum Aufbau der Message- und Kontraktnetz-Architekturen.

³⁰³ Vgl. hierzu Abschnitt 4.7.1.5.

³⁰⁴ Vgl. hierzu Abschnitt 4.7.1.6.

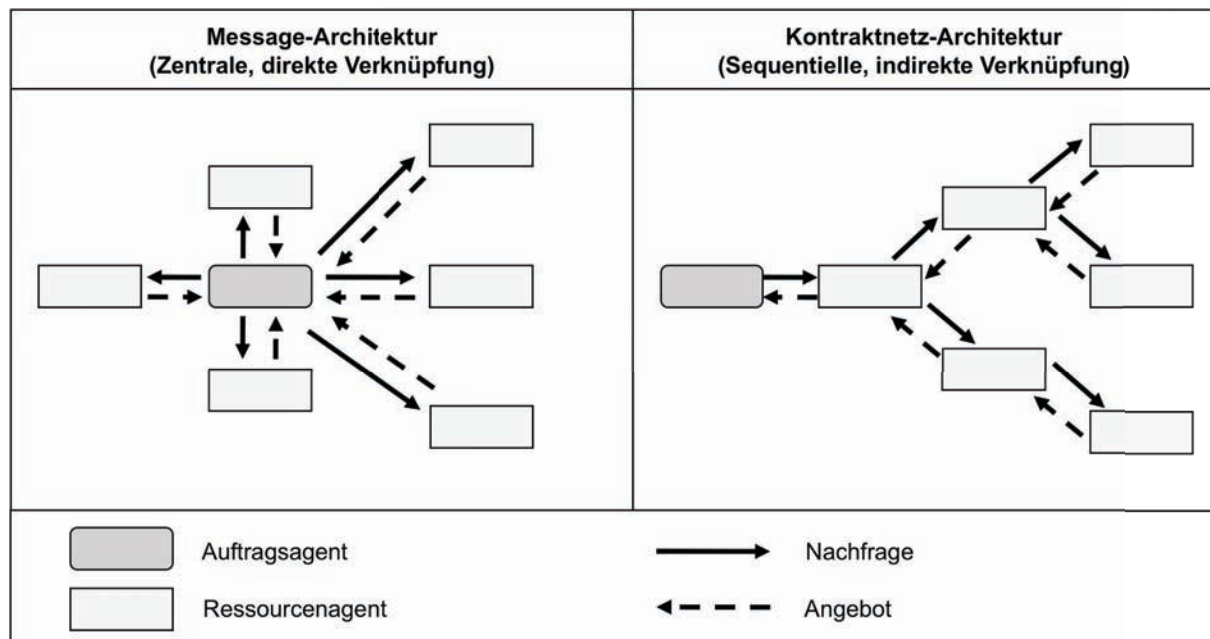


Abbildung 31: Aufbau von Message- und Kontraktnetz-Architekturen (Quelle: Lieske 2005, S. 37)

Auf der Kommunikationsebene der jeweiligen Agenten kann zwischen verschiedenen Kommunikationsgraden und -modulen unterschieden werden. Das *High level communication module* ist verantwortlich für die generelle Möglichkeit der Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Agenten auf Basis von Informations- und Kommunikationstechnologien. Das *Agent acquaintance module* beinhaltet oder transferiert Informationen, die nur für bestimmte einzelne Agenten von Bedeutung sind. Das *Self model* umfasst eine Abstraktion der Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kenntnisse und Interessen der jeweiligen Agenten.³⁰⁵

Der Hauptbestandteil eines MAS sind die Agenten, wobei in der Literatur eine Vielzahl von Agenten und Agententypen beschrieben werden. Sie sind jedoch nicht für jeden Einsatzbereich zweckmäßig. Die Auflistung in den folgenden Ausführungen zeigt eine Reihe von Agenten, die im betriebswirtschaftlichen Produktionsumfeld und speziell in der Sekundärrohstofflogistik zum Einsatz kommen können. Die in Abschnitt 3.3.2.1 genannte Einteilung in Ressourcen- und Auftragsagenten wird damit weiter spezifiziert.

³⁰⁵ Vgl. Oliveira 1994, S. 313. Vgl. hierzu auch Cockburn/Jennings 1996 in Verbindung mit Wittig 1992.

Die Agententypisierung und -identifizierung für die Sekundärrohstofflogistik orientiert sich in der vorliegenden Arbeit an den Funktionsbereichen eines Unternehmens. Dabei können folgende Agenten menschlicher und technischer Natur in Tabelle 8 unterschieden werden:³⁰⁶

Manageragent	<ul style="list-style-type: none"> – ist für die Kommunikation mit der gesamten externen Umgebung eines MAS sowie für die Leitung und Verwaltung der Agenten verantwortlich, – legt Kennzahlen und Einflussgrößen für den betrieblichen Gesamtprozess fest, – überwacht die materiellen und finanziellen Ressourcen, – hält die Kunden- und Geschäftskontakte nach außen aufrecht – beobachtet markt- oder preislichen Entwicklungen und – erstellt Reports und koordiniert die Agentenkapazitäten und -leistungsfähigkeiten.
Nachfrageagent	<ul style="list-style-type: none"> – beschäftigt sich mit dem Verkauf von Produkten an die Konsumenten, – bearbeitet Kundenanfragen und Anweisungen des Manageragenten, – erstellt zukünftige Produkthanfragen und Absatzprognosen und – ist für die Preisbildung der Produkte zuständig und verfolgt das Ziel der Ertragsmaximierung.
Beschaffungsagent	<ul style="list-style-type: none"> – organisiert die termingerechte Beschaffung von benötigten Bauteilen und Komponenten, – generiert Lieferanfragen und – verhandelt mit den Lieferanten und wählt denjenigen mit den besten Lieferkonditionen aus.

³⁰⁶ Vgl. Kovalchuk 2009, S. 57-61.

Lageragent	<ul style="list-style-type: none"> – behandelt die ankommenden Bauteile und Komponenten von den Lieferanten sowie die gefertigten Güter vom Produktionsagenten, – stellt die gelieferten Bauteile und Komponenten für die Produktion und die Endprodukte für die Auslieferung zu den Kunden zur Verfügung, – zeichnet die Nachfrage nach Bauteilen und Komponenten sowie Endprodukten der Produktions- und Lieferagenten auf und versucht diese ohne Unterschreitung bestimmter Bestandsgrenzwerte zu befriedigen, – passt für die Minimierung der Lagerhaltungs- und Bestandskosten die Höhe der Bestandsgrenzwerte in Abhängigkeit von den jeweiligen Nachfragen für die einzelnen Warenarten dynamisch an und – hält die Lagerbestände so gering wie möglich und vermeidet die Situation eines Produktions- oder Lieferausfalls aufgrund fehlender Waren.
Produktionsagent	<ul style="list-style-type: none"> – ist für die Disposition der aktuellen und für die Planung der zukünftigen Produktion verantwortlich, – disponiert mit den Aufträgen und den detaillierten Kundeninformationen der Nachfrageagenten sowie den Bestandsinformationen der Lageragenten die Produktion über einen bestimmten Zeithorizont und – plant alle aktuellen und zukünftigen Aufträge in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Kapazität und Einsatzgütern dynamisch ein.
Lieferagent	<ul style="list-style-type: none"> – liefert die fertigen Endprodukte auftragskonform an die Kunden, – disponiert zur Vermeidung von Pönalen und sonstigen Strafmaßnahmen infolge von Lieferverzögerungen die Lieferungen für aktuelle Kundenaufträge so früh wie möglich ein und – sortiert die Kundenaufträge nach Terminfälligkeit und steuert diese entsprechend der Produktverfügbarkeit in die Lieferdisposition.

Tabelle 8: Agenten in den Funktionsbereichen eines Unternehmens

Agenten können über die genannte Einteilung hinaus in ausführend tätige und in informierend verwaltende Agenten klassifiziert werden. Ausführend tätige Agenten sind für die Durchführung von getroffenen Arbeitsanweisungen und Arbeitsabläufen verantwortlich. Informierend verwaltende Agenten stellen Informationen und Daten zu den betrieblichen Abläufen für andere Agenten zur

Verfügung.³⁰⁷ Sie repräsentieren dabei jeweils eine oder mehrere funktionale oder physische Entitäten in der betrieblichen Unternehmung. In Abhängigkeit vom Aufteilungsgrad der Funktionsbereiche wie Beschaffung, Produktion oder Distribution und der physischen Objekte wie Maschinen, Werkzeuge, Produkte oder Komponenten können unterschiedlich viele Agenten zum Einsatz kommen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Anzahl der Agenten die Effektivität und somit die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems beeinflusst. Eine hohe Anzahl an Agenten kann beispielsweise Arbeitszeit und -dauer durch synchronisierte Prozesse reduzieren, aber auch zusätzlichen Zeitaufwand für Kommunikationsprozesse generieren. Bei der Konzeption eines MAS ist daher auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen notwendigem Agentennutzen und erforderlichlichem Agentenaufwand zu achten.³⁰⁸

Erfolgt eine weitere Aufteilung der Funktionsbereiche und der physischen Objekte innerhalb der Unternehmen, können eine Vielzahl weiterer Agenten und Agententypen identifiziert werden. Aufgrund der Vielfalt sollen nur einige weitere Agenten kurz genannt werden: Orderagenten, Transportagenten, Prozessagenten, Planagenten, Bearbeitungsagenten, Maschinenagenten, Maschinengruppenagenten, Teileagenten, Dispositionsagenten, Koordinationsagenten, Kontrollagenten oder Optimierungsagenten.³⁰⁹ Abbildung 32 stellt die genannten Agenten in der Struktur eines Unternehmens dar.

Die Interaktionsfähigkeit und -möglichkeit der Agenten ist ein wichtiges Element bei der Entwicklung und Konzeption einer Multiagentenstruktur. Die Interaktion der Agenten dient dazu, benötigte Informationen auszutauschen, die für die Erfüllung ihrer Aufgaben und damit zu ihrer Zielerreichung erforderlich sind. Für die Multiagenteninteraktion sind drei Kernelemente zu berücksichtigen:³¹⁰

- eine gemeinsame Kommunikationssprache und -protokoll,
- ein gemeinsames inhaltliches Format für die Kommunikation und

³⁰⁷ Vgl. Lim/Zhang 2003, S. 380.

³⁰⁸ Vgl. Kovalchuk 2009, S. 56-57.

³⁰⁹ Vgl. Lim/Zhang 2003, S. 380-383; Krothapalli/Deshmukh 1999, S. 1603-1605; Qiao/Zhu 2000, S. 6-8; Walker et al. 2006, S. 21-23 und Corsten/Gössinger 1999, S. 144-146.

³¹⁰ Vgl. Kumar et al. 2008, S. 3.

- eine gemeinsam genutzte Ontologie.

In den Abschnitten 4.7.1.5 und 4.7.1.6 wird auf diese Elemente näher eingegangen.

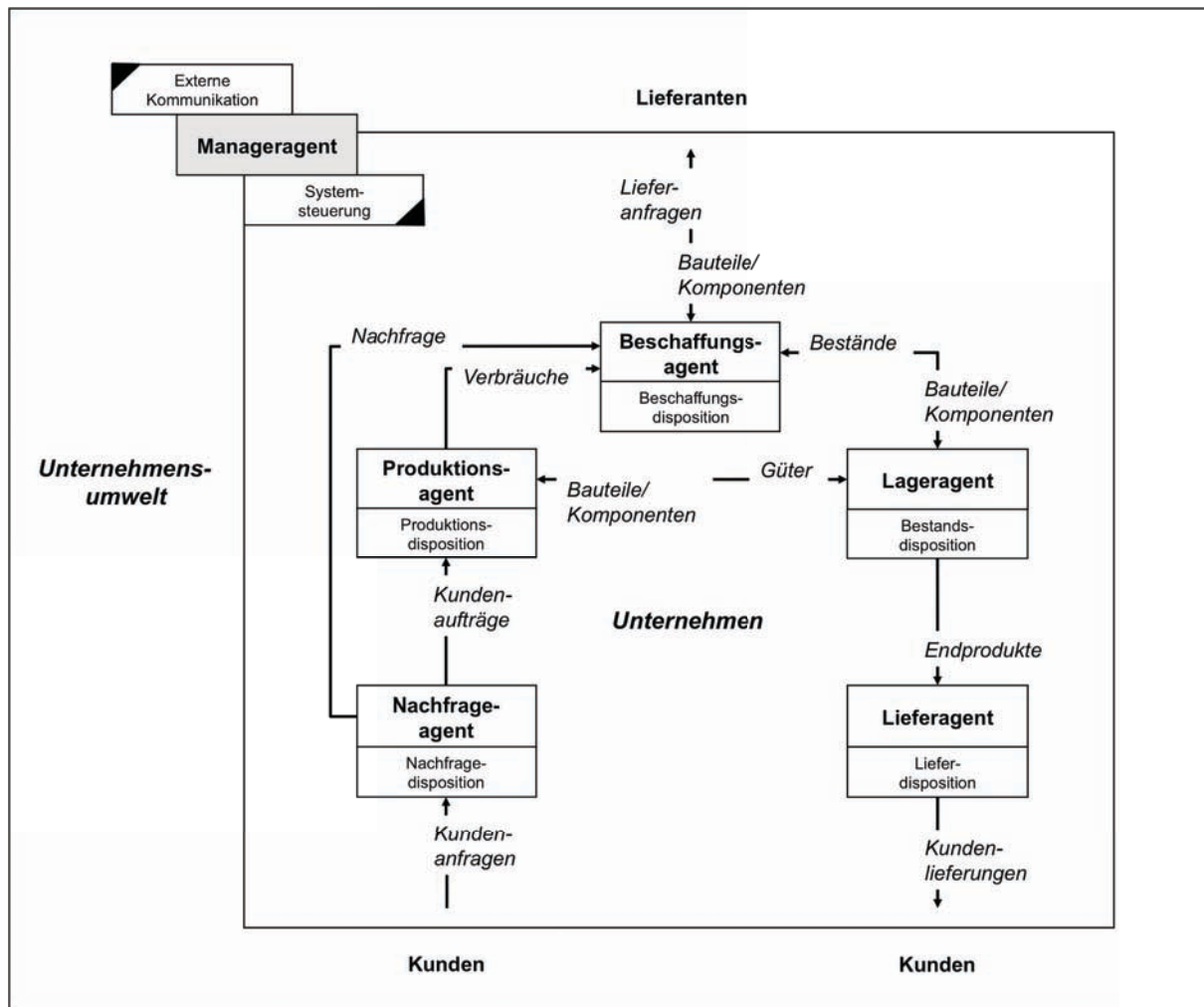


Abbildung 32: Multiagentenstruktur eines Unternehmens

Der Vollständigkeit und Korrektheit halber muss hinzugefügt werden, dass ein ganzheitliches Unternehmens-MAS einen Schritt weiterführt. In Anbetracht der Existenz von bisher unbetrachteten Unternehmensbereichen wie Marketing, Forschung und Entwicklung, Qualitätsmanagement, Kundendienst oder Instandhaltung sind für ein ganzheitliches Unternehmens-MAS Ergänzungen in Form von menschlichen und technischen Agenten auf den gesamten MAS-

Ebenen erforderlich.³¹¹ Eine vollständige und ausführliche Betrachtung eines ganzheitlichen MAS, führt im Rahmen dieser Arbeit zu weit. Die Beschreibung dazu beschränkt sich auf die wesentlichen und notwendigen Bestandteile eines MAS zur Produktion von Sekundärrohstoffen im Bereich der rückführenden Logistik.

4.7.1.3 Standard-Architekturen im Bereich der Agententechnologie

Für den Bereich der Agententechnologie und für die Architektur von MAS haben sich zwei Standards durchgesetzt. Die Standards der Foundation for Intelligent Agents (FIPA) und der Object Management Group (OMG) werden in diesem Abschnitt kurz vorgestellt. Diese können für die Erarbeitung eines MAS im Bereich der rückführenden Logistik Anwendung finden. Die Standards der beiden Organisationen sind mit verschiedenen Zielrichtungen versehen. Die FIPA verfolgt das Ziel, die Infrastruktur von agentenbasierten Anwendungen zu vereinheitlichen und Standards für die Konstruktion von Agentensystemen zu setzen. Das Ziel der OMG ist die standardisierte Interoperabilität zwischen verschiedenen Agentenplattformen mit Hilfe eines definierten Standards für mobile Agenten.

Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)

Die FIPA ist eine gemeinnützige Organisation, die 1996 in Genf gegründet wurde. Mit ihren Standards möchte die FIPA die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Agenten und Agentensystemen erleichtern und die Kompatibilität der Agententechnologien der unterschiedlichen Hersteller erhöhen. Das Konzept wird durch den aktuellen FIPA-2000-Standard repräsentiert. Er enthält 40 Spezifikationen zum Agentenmanagement, zur Agentenkommunikation oder zur Interaktion mit dem Benutzer.³¹² Die Spezifikationen sind veränder- sowie erweiterbar und gliedern sich in fünf Gebiete, die in Tabelle 9 gezeigt werden.³¹³

³¹¹ Vgl. Qiao/Zhu 2000, S. 7-8.

³¹² Vgl. Dangelmaier et al. 2004, S. 45.

³¹³ Vgl. Dangelmaier et al. 2004, S. 45-48 und Pichler et al. 2002, S. 93-94.

Anwendungen	<ul style="list-style-type: none"> – beinhaltet Spezifikationen für die Integration von Anwendungen, Software oder Diensten in Agentensystemen und – stellt für ausgewählte Bereiche wie Datenbanken, Webserver oder Assistenzsysteme verschiedene Applikationen für die Nutzung der Agenten zur Verfügung.
Abstrakte Architektur	<ul style="list-style-type: none"> – die Spezifikationen beschreiben die wesentlichen Elemente und Beziehungen eines Agentensystems wie zum Beispiel die Agenten, den Namens- und Verzeichnisdienst oder den Nachrichtentransport zwischen den Agenten und – definiert die Elemente auf eine allgemeine Weise, ohne eine konkrete Beschreibung für die jeweilige Realisierung und Implementierung vorzunehmen.
Agentenkommunikation	<ul style="list-style-type: none"> – in dieser Kategorie werden für die Kommunikation zwischen den Agenten grundlegende Modelle festgelegt, – erzeugt durch das Austauschen von Nachrichten Handlungen, die für das Erreichen der jeweiligen Ziele der Agenten notwendig sind und – stellt für die Durchführung der Kommunikation Interaktionsprotokolle und Agentenkommunikationssprachen zur Verfügung.
Agentenmanagement	<ul style="list-style-type: none"> – enthält Spezifikationen, die ein Referenzmodell für Agentensysteme beschreiben, – stellt die physikalische Infrastruktur – Hardware, Software, Betriebssystem, Agenten, Agentenkonfigurationen – bereit und bietet ein Referenzmodell indem die Agenten existieren und operieren, welches in Abbildung 33 dargestellt ist, – das Referenzmodell dient als Grundlage für die Erstellung von Agentenplattformen und kann von Entwicklern von MAS ziel- und situationsabhängig gestaltet und implementiert werden.
Nachrichtentransport	<ul style="list-style-type: none"> – die Spezifikationen beschreiben die Struktur, die Darstellung und den Transport von Nachrichten und – halten für den plattformspezifischen Nachrichtendienst einen Message-Transport-Service und für den plattformübergreifenden Nachrichtentransport ein Message-Transport-Protokoll bereit.³¹⁴

Tabelle 9: FIPA-Spezifikationen für den Aufbau von Agentensystemen

³¹⁴ Vgl. zum FIPA Standard auch Weiß/Jakob 2005; O'Brien/Nicol1998; Zhou et al. 2007 und Petsch 2001.

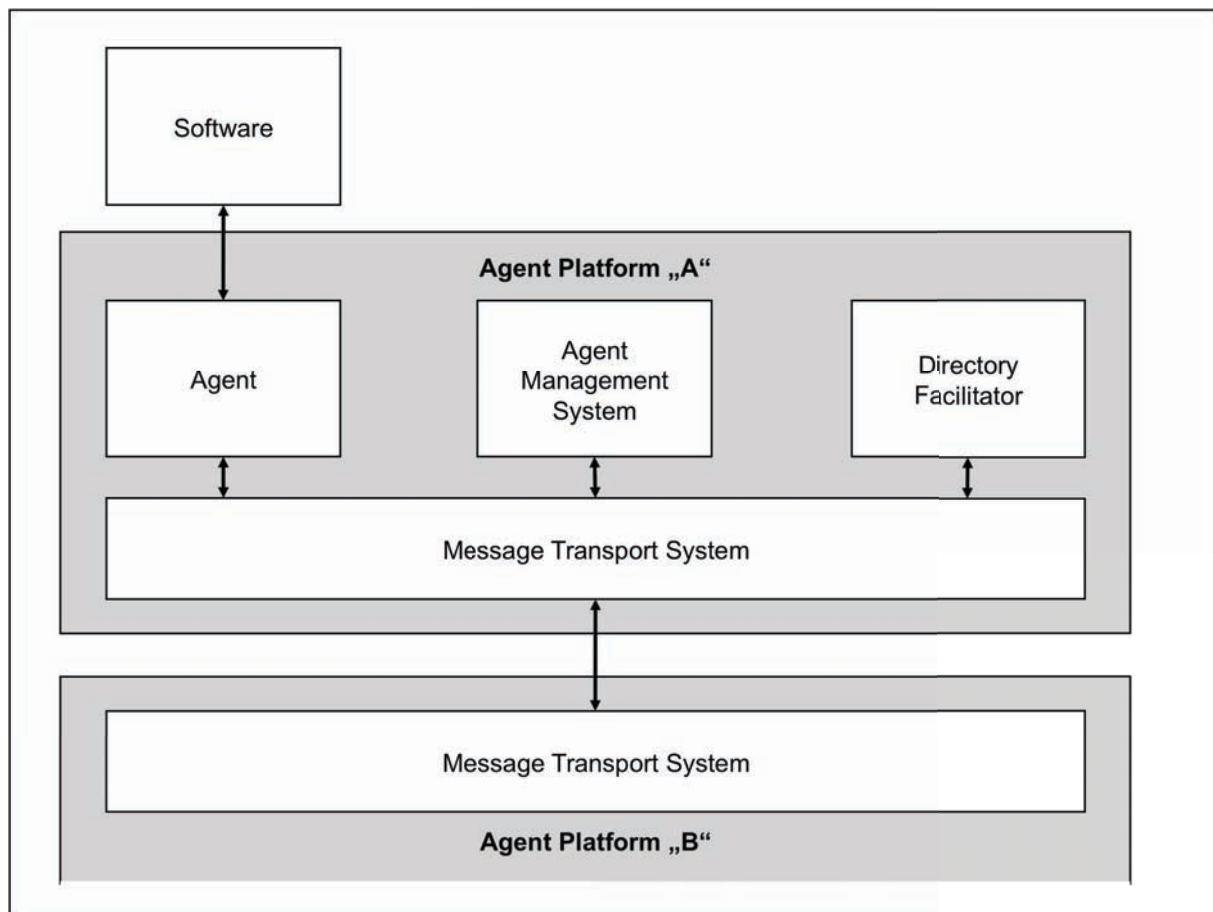


Abbildung 33: FIPA-Referenzmodell (Quelle: Dangelmaier et al. 2004, S. 47)

Object Management Group (OMG-MASIF)

Die OMG ist ebenfalls eine gemeinnützige Organisation. Sie wurde im Jahr 1989 gegründet. Die Arbeit der OMG zielt auf die Standardisierung von verteilten, objektorientierten Softwarearchitekturen ab. Mobile Agenten spielen dabei eine wichtige Rolle, denn sie stellen eine Technologie dar, die für die Implementierung von Verteilungsarchitekturen gut geeignet ist. Bekannte Standards der OMG sind die Common Object Request Broker Architecture (CORBA), das Internet Inter-ORB Protocol (IIOP) oder der MASIF-Standard (Mobile Agent System Interoperability Facility). Die Spezifikationen des MASIF-Standards beschreiben eine detaillierte Sicht auf die Agenten. Sie zeigen, wie Agenten auf lokalen oder anderen Agentensystemen verwaltet und kontrolliert oder auch zwischen Agentensystemen transportiert werden.

Die MASIF-Spezifikation ist in vier Kapitel aufgeteilt:³¹⁵

- Kapitel 1 – Darin werden die Grenzen des Standards gezeigt, Terminologien zur Verfügung gestellt und die Aufgaben des Agentensystems beschrieben.
- Kapitel 2 – Die Spezifikationen des zweiten Kapitels erklären die CORBA-Dienste, die für die mobilen Agenten relevant sind und stellt deren Bedeutung dar.
- Kapitel 3 – Dieses Kapitel beinhaltet Spezifikationen, welche die Schnittstellen von MASIF-Agentenplattformen und die genutzten Datenstrukturen formulieren.
- Kapitel 4 – Im vierten Kapitel wird ein mögliches Szenario für die Verwendung des MASIF-Standards vorgestellt.

Das OMG- und das MASIF-Referenzmodell sind in den Abbildungen 34 und 35 dargestellt.

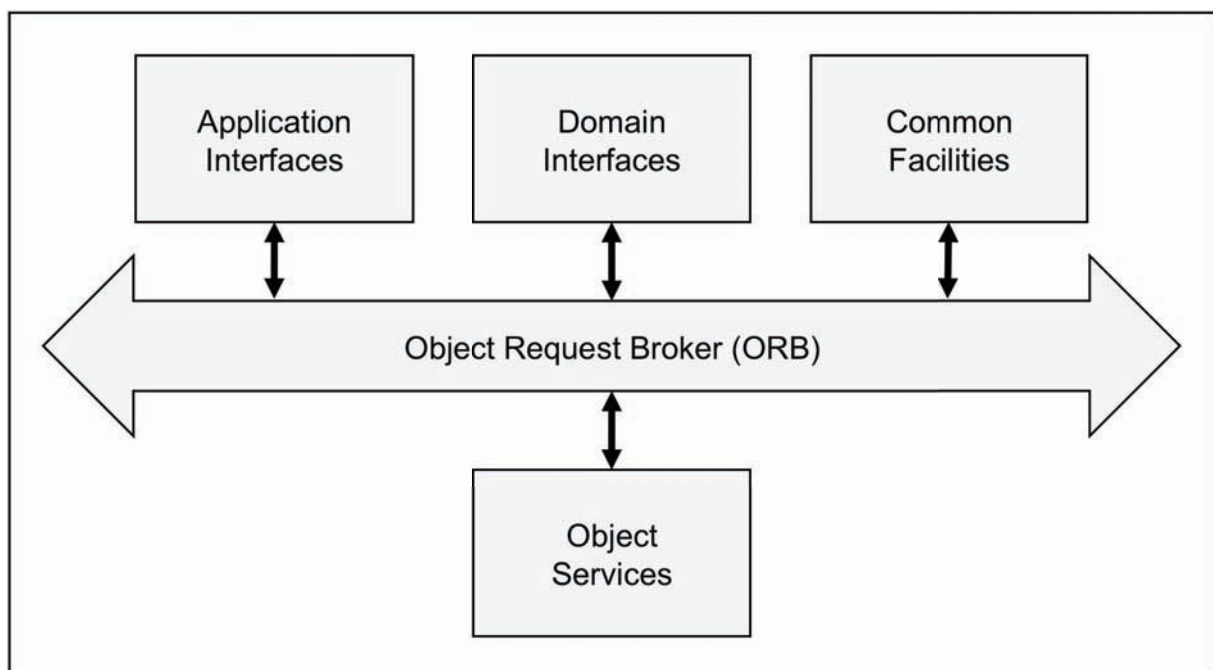


Abbildung 34: OMG-Referenzmodell (Quelle: Beschorner 2002, S. 17)

³¹⁵ Vgl. Dangelmaier et al. 2004, S. 48-49 und Pichler et al. 2002, S.94-96.

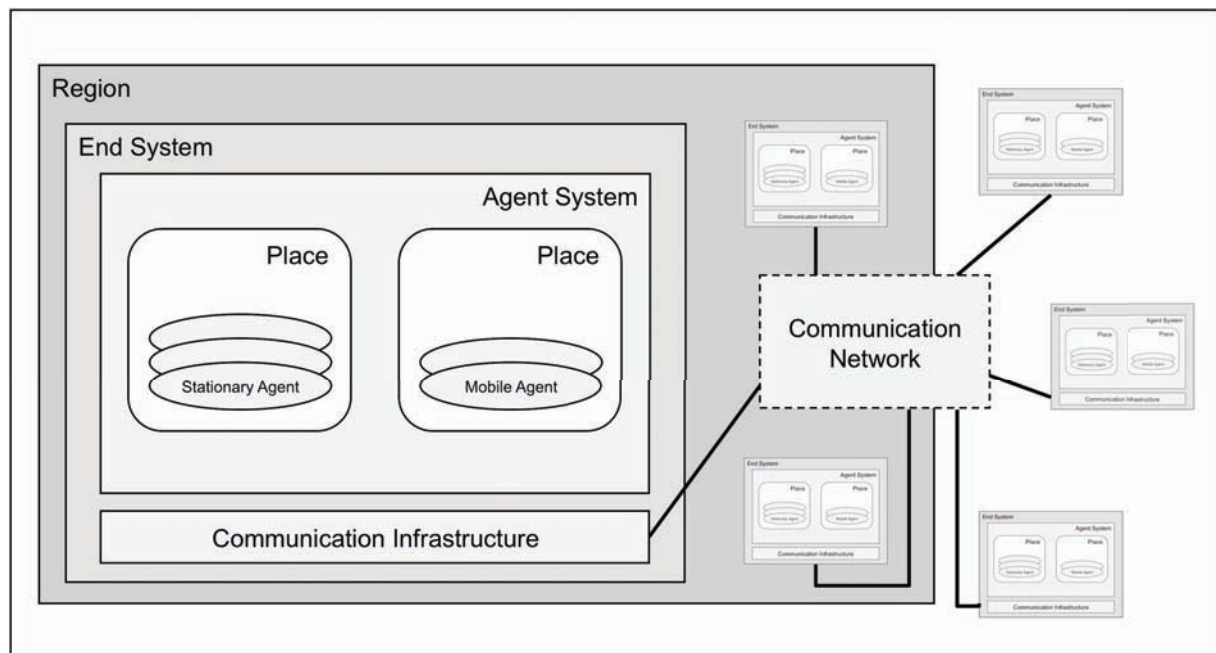


Abbildung 35: MASIF-Referenzmodell (Quelle: Kempter et al. 2001, S. 143)

Ein direkter Vergleich der FIPA- und MASIF-Spezifikationen ist aufgrund der unterschiedlichen Zielfokussierung schwer möglich. Der MASIF Standardisierung hat die Mobilität der Agenten im Visier. Der FIPA-Standard hat hingegen die Vereinheitlichung der gesamten agentenbasierten Infrastruktur und Anwendungen zum Ziel.³¹⁶ Aus diesem Grund wird in den weiteren Ausführungen auf die FIPA-Standards Bezug genommen.

Die folgenden Abschnitte erläutern den Aufbau und die Funktionsweise eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems im Bereich der rückführenden Logistik. Sie zeigen eine Auswahl von Elementen, die für den Aufbau des MAS erforderlich sind und veranschaulichen die Durchführung der dynamischen Disposition anhand verschiedener Dispositionsszenarien. Zunächst werden für die Teilbereiche der Sekundärrohstofflogistik Agententypen identifiziert, die Kommunikation und der Transfer von Nachrichten zwischen den Agenten beschrieben sowie der strukturelle Datenaustausch in Form einer Ontologie dargestellt.

³¹⁶ Vgl. Pichler et al. 2002, S. 96.

4.7.1.4 Agententypen in der Sekundärrohstofflogistik

In der Tabelle 10 werden Agententypen für die Sekundärrohstofflogistik spezifiziert.³¹⁷ In einem Überblick werden für die Teilbereiche Redistribution, Aufarbeitung und Aufbereitung sowie Wiedereinsatz die Verantwortungsbereiche, Aufgaben, Handlungen und die Zusammenarbeit der Agenten skizziert.³¹⁸

Redistributionsagenten

Manageragenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die gesamten unternehmerischen Aktivitäten in der Redistribution verantwortlich (externe und interne Kommunikation, Leitung und Verwaltung der Agenten, Steuerung der betrieblichen Abläufe), – Schnittstellen der Kommunikation liegen zwischen dem Beschaffungsmarkt für Rückstände und den Agenten der Redistribution sowie der Aufarbeitung und Aufbereitung.
Informationsagenten	<ul style="list-style-type: none"> – stellen alle Informationen, die für die Verwaltung und den Betrieb in der Redistribution notwendig sind, allen oder den betreffenden Agenten zur Verfügung.
Vorhersageagenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die Prognose von rückführenden Materialströmen verantwortlich und verwenden dafür Vorhersagemethoden,³¹⁹ – beobachten den Markt für die Beschaffung von Rückständen und stehen in ständigem Kontakt mit den Angehörigen von möglichen Rückstandsquellen und – stellen die Ergebnisse der Prognosen in validierter und verlässlicher Form den Sammelagenten zur Verfügung.

³¹⁷ Der physische Zustand eines Agenten kann dabei, wie bereits in Abschnitt 3.3.2.1 erwähnt wurde, von einem menschlichen Akteur bis hin zu einem simulierten Automaten reichen. In Abhängigkeit des Aufgabengebietes kann der physische Zustand des Agenten antizipiert werden. So ist es in diesem Fall denkbar, dass ein Informations- oder Vorhersageagent ein Rechencomputer sein kann und ein Transportagent eine ausführbare Transporteinheit darstellt.

³¹⁸ Vgl. zu den genannten Ausführungen Tabelle 8; Mönch 2006a, S. 199-203; Wutz 2008, S. 25-33 und Fertsch et al. 2005, S. 248-249.

³¹⁹ Vgl. hierzu Abschnitt 3.2.3.2.

Sammelagenten	<ul style="list-style-type: none"> – koordinieren die Sammlung beziehungsweise die Beschaffung der Rückstände, – erhalten von den Vorhersageagenten Informationen zu den Anfallstellen sowie Mengen und Arten der Rückstände und – sind mit den ihnen zur Verfügung gestellten Informationen für die Planung der Sammeltouren und für die Bereitstellung der Rückstände für den Produktionsprozess von Sekundärrohstoffen zuständig.
Transportagenten	<ul style="list-style-type: none"> – übernehmen die Umsetzung und physische Durchführung der geplanten Sammeltouren, – sammeln die Rückstände von den Rückstandsquellen ein und transportieren sie auf direktem oder indirektem Weg zu den Verbrauchssenen, – berücksichtigen bei der Durchführung ihrer Tätigkeiten und der räumlichen Überbrückung der Rückstände die vorgegebenen oder gewünschten bedarfs- und termingerechten Anlieferungszeiten und – für die Sammlung und den Transport der Rückstände steht ihnen ein Fahrzeugpool zur Verfügung.
Rückstandsagenten	<ul style="list-style-type: none"> – erhalten im Fall eines indirekten Transports der Rückstände zu den Verbrauchssenen die gesammelten Rückstände, – sortieren die Rückstandsmengen in Rückstandsfraktionen und sorgen für eine bedarfsgerechte und produktionsspezifische Bereitstellung der Rückstände und – übergeben die Rückstandsfraktionen für den Weitertransport an die Transportagenten oder für einen zwischenzeitlichen Verbleib der Rückstände an die Lageragenten.
Lageragenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die zeitliche Überbrückung zwischen Anfall und Verwendung oder dem Ausgleich der mengenmäßigen Schwankung von Angebot und Nachfrage der Rückstände zuständig, – verwenden bekannte Lagerhaltungstechniken und -prinzipien³²⁰ und – übergeben nach der notwendigen Lagerung die Rückstände an die Transportagenten für die Transferierung an die Verbrauchssenen.

³²⁰ Vgl. hierzu Arnold et al. 2008, S.153-167 und 645-668 oder Schulte 2001, S. 248-281.

Monitoringagenten	<ul style="list-style-type: none"> – entwickeln Leistungsmaße für das Redistributionssystem, – nehmen relevante Daten in den einzelnen Bereichen oder bei den Agenten des Redistributionssystems auf und dienen zur Berechnung der entsprechenden Leistungsmaße und – werten die Monitoringergebnisse im Sinne eines Überwachungs- und Kontrollverfahrens aus und stellen sie für die Prozessorientierung und Leistungsverbesserung allen Agenten und im Besonderen den Manageragenten zur Verfügung.³²¹
Aufarbeitungs- und Aufbereitungsagenten	
Manageragenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die gesamten unternehmerischen Aktivitäten in der Aufarbeitung und Aufbereitung verantwortlich (externe und interne Kommunikation, Leitung und Verwaltung der Agenten, Steuerung der betrieblichen Abläufe), – Schnittstellen der Kommunikation liegen zwischen den Manageragenten der Bereiche Redistribution und Wiedereinsatz sowie weiterer Unternehmen im Bereich der Aufarbeitung und Aufbereitung.
Informationsagenten	<ul style="list-style-type: none"> – stellen alle Informationen, die für die Verwaltung und den Betrieb in der Aufarbeitung und Aufbereitung notwendig sind, allen oder den betreffenden Agenten zur Verfügung.
Transportagenten	<ul style="list-style-type: none"> – stellen die von den Verbrauchssenen angeforderten und die vom Bereich der Redistribution zur Verfügung gestellten Rückstände für die Agenten der Aufarbeitung und Aufbereitung zur Produktion von Sekundärrohstoffen an den jeweiligen Arbeitsstationen bereit, – organisieren den Transport der Halbfabrikate oder Fertigprodukte zwischen den Arbeitsstationen und den Zwischen- oder Endlagern und – stellen die produzierten Sekundärrohstoffe für den Wiedereinsatz bereit.
Demontageagenten	<ul style="list-style-type: none"> – zerlegen komplexe Rückstände für die Aufarbeitung und Aufbereitung sowie für die Produktion von Sekundärrohstoffen und – bauen Einzelteile aus, spalten die Rückstände in ihre Einzelkomponenten auf und steuern diese in die weiteren Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse ein.

³²¹ Vgl. Mönch 2006a, S. 203.

Separierungsagenten	<ul style="list-style-type: none"> – zerstören komplexe Rückstände aufgrund der fehlenden Ausbaufähigkeit oder der genauen Trennungsmöglichkeit der einzelnen Bestandteile und – fassen die Elemente des Zerstörungsprozesses zu Rückstandsfractionen zusammen und stellen sie für die Aufarbeitungs- und Aufbereitungsagenten bereit.
Schadstoffagenten	<ul style="list-style-type: none"> – unterziehen schadstoffbelastete Rückstände einer Schadstoffentfrachtung und – befreien die einzelnen Rückstände oder Rückstandsfractionen in diesem Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozess mit Hilfe chemischer, physikalischer oder biologischer Verfahren von Schadstoffen.
Test- und Prüfagenten	<ul style="list-style-type: none"> – ermitteln den qualitativen Zustand und die Wertigkeit der Rückstände und – entscheiden über die Einsatzfähigkeit und Sortenreinheit der Rückstände sowie der Sekundärrohstoffe – negative bewertete Materialien werden entsorgt.
Produktionsagenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die Aufarbeitung und Aufbereitung der Rückstände zu Sekundärrohstoffen verantwortlich, – planen mit den Informationen von den Agenten der vorgelagerten Prozessstufen und den dazugehörigen Rückständen die Arbeitsabläufe in den jeweiligen Produktionsbereichen die für die Produktion der Sekundärrohstoffe notwendig sind, – ordnen die Prozess-Schritte den Maschinen zu und terminieren die Lose für die Produktion von Sekundärrohstoffen und – berechnen die Kapazitäten und Kapazitätsauslastungen der vorhandenen Ressourcen und die Laufzeitumgebungen der einzelnen Produktionsbereiche.
Maschinenagenten	<ul style="list-style-type: none"> – verwalten die Maschinenverfügbarkeiten und -kapazitäten, – besitzen Informationen über die Zustände einzelner oder mehrerer Maschinen und verfügen über Referenzen der Lose, die auf den Maschinen bearbeitet werden können und – verarbeiten die Anweisungen von den Produktionsagenten zu den durchzuführenden Prozess-Schritten, erstellen Maschinenbelegungspläne und erfüllen die Lose zur Herstellung der Sekundärrohstoffe.

Lageragenten	<ul style="list-style-type: none"> – verwalten die eintreffenden Rückstände aus dem Bereich der Redistribution, stimmen die Bestände zwischen den einzelnen Produktionsschritten und -stufen ab und sichern die Materialverfügbarkeit für den Bereich des Wiedereinsatz und – bauen beim Auftreten von angebots- und nachfrageseitigen Unsicherheiten ein Lagerhaltungssystem auf und sichern damit einen reibungslosen Produktionsprozess.
Monitoringagenten	<ul style="list-style-type: none"> – messen und bewerten den Bereich der Aufarbeitung und Aufbereitung mit Hilfe verschiedener Leistungskennzahlen, – nehmen Daten auf, berechnen die Leistungsmaße und werten diese im Sinne eines Controlling- und Verbesserungsprozesses aus und – übermitteln die Ergebnisse an alle Agenten der Aufarbeitung und Aufbereitung.
Wiedereinsatzagenten	
Manageragenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die gesamten unternehmerischen Aktivitäten im Wiedereinsatz verantwortlich (externe und interne Kommunikation, Leitung und Verwaltung der Agenten, Steuerung der betrieblichen Abläufe), – Schnittstellen der Kommunikation liegen zwischen den Manageragenten der Aufarbeitung und Aufbereitung sowie den Akteuren des Sekundärrohstoffmarktes.
Informationsagenten	<ul style="list-style-type: none"> – stellen alle Informationen, die für die Verwaltung und den Betrieb im Bereich des Wiedereinsatzes notwendig sind, allen oder den betreffenden Agenten zur Verfügung.
Nachfrageagenten	<ul style="list-style-type: none"> – beobachten die Märkte für Sekundärrohstoffe, analysieren die Entwicklungen auf den Rohstoffmärkten und in der Sekundärrohstoffbranche, identifizieren Trends sowie Szenarien und nehmen Nachfragetendenzen für Sekundärrohstoffe wahr, – stehen in Kontakt mit den Nachfragern nach Sekundärrohstoffen und fungieren als Empfangseinheit für die Bestellungen der Kunden, – geben den konkreten Bedarf nach Sekundärrohstoffen an die Manageragenten und die vorgelagerten Aufarbeitungs- und Aufbereitungsagenten weiter und – informieren die Transportagenten über die Auslieferung der Sekundärrohstoffe an die Kunden.

Transportagenten	<ul style="list-style-type: none"> – befördern die bestellten Sekundärrohstoffe bedarfs- und termingerech zu den Kunden und – verwenden Rundreise- und Tourenplanungstools für die optimale und kostengünstige Durchführung des Transports.
Lageragenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die zeitliche Überbrückung zwischen dem Anfall von produzierten und nachgefragten Sekundärrohstoffen verantwortlich und – nehmen die produzierten Sekundärrohstoffe von den Produktagenten entgegen, lagern sie ein und übergeben sie für den Wiedereinsatz an die Transportagenten.
Monitoringagenten	<ul style="list-style-type: none"> – sind für die Leistungs- und Performancemessung verantwortlich und – nehmen Leistungsmaße auf, berechnen die notwendigen Informationen und geben die Monitoringergebnisse an die Agenten des Wiedereinsatzes aus.

Tabelle 10: Agententypen in der Sekundärrohstofflogistik

Die Kommunikation und der Transfer der Informationen und Handlungsanweisungen, die für die Zusammenarbeit der Agenten in ihren jeweiligen Verantwortungsbereichen notwendig sind, werden im folgenden Abschnitt behandelt.

4.7.1.5 Kommunikations- und Transferprotokoll

Die Kommunikationsfähigkeit ist eine wichtige Eigenschaft der Agenten. Bei menschlichen Agenten kann diese Fähigkeit als sehr ausgeprägt betrachtet werden, bei softwarebasierten, technologischen Agenten wird diese wohl in ihrer Schnelligkeit ihre Vorteile haben. Die Kommunikation zwischen den Agenten in einem MAS erfolgt durch den Versand und Austausch von Nachrichten. Sie bildet die Grundlage für die Interaktion zwischen den Agenten, um komplexe Problemstellungen in Teilprobleme zu zerlegen, separat zu bearbeiten und zu einer Gesamtlösung zusammenzuführen.

Anhand eines einfachen Beispiels wird die Kommunikation zwischen Agenten dargestellt. In diesem Fall wird die Interaktion zwischen Manager-, Produktions- und Maschinenagenten betrachtet. Die Manageragenten übermitteln den Produktions- und Maschinenagenten Informationen zu den Produkten. Die Produktionsagenten ermitteln anhand von Arbeitsplänen zu den Produkten die

auszuführenden Prozess-Schritte und die notwendigen Kapazitäten. Die Produktionsagenten übermitteln im Ergebnis den Maschinenagenten Anweisungen für die Durchführung der Prozess-Schritte. Die Maschinenagenten informieren umgekehrt die Produktionsagenten zum Beispiel über Maschinenausfälle.³²² Abbildung 36 veranschaulicht dieses Vorgehen. In den weiteren Ausführungen wird dieser Prozess spezifiziert.

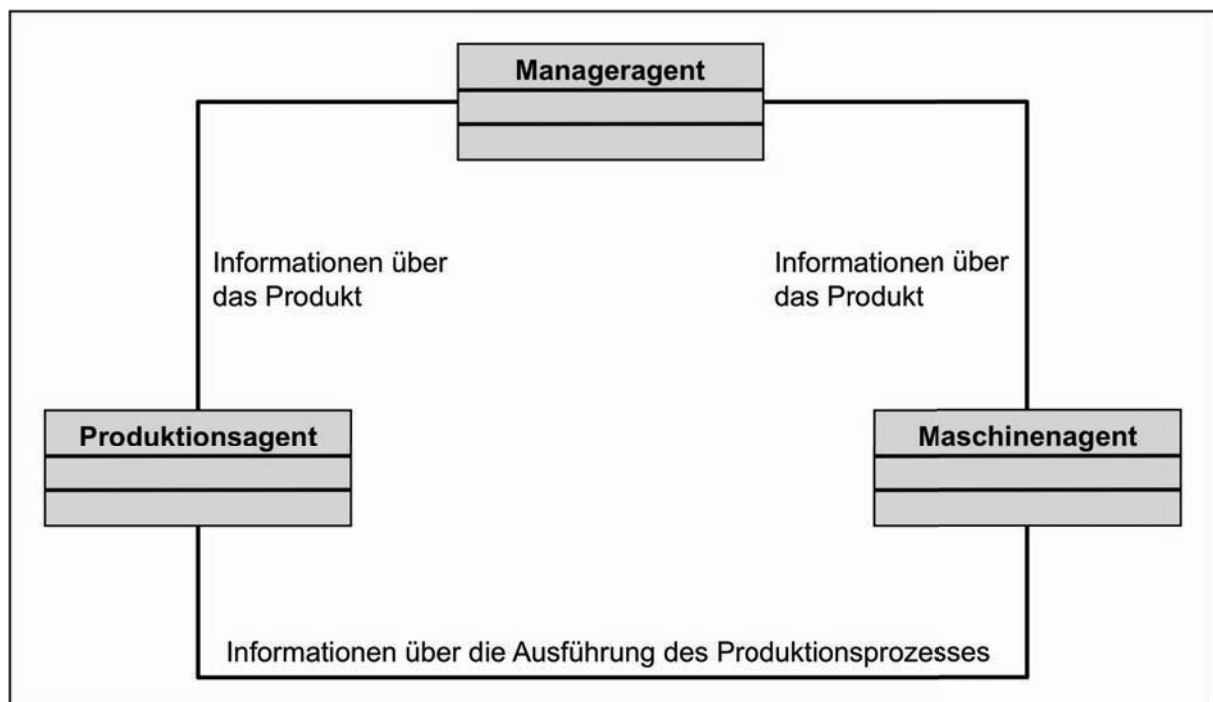


Abbildung 36: Kommunikation zwischen Manager-, Produktions- und Maschinenagent
(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Mönch 2006a, S. 91)

Der Standardisierungsprozess der FIPA hat für FIPA-konforme MAS eine Spezifikation für die Kommunikation in einem MAS entwickelt. Die Implementierung dieser Spezifikation ermöglicht zudem den Kontakt und Nachrichtenaustausch zwischen heterogenen MAS. Das FIPA-Referenzmodell für die Agentenkommunikation wird in den folgenden Ausführungen vorgestellt. Das Modell für die Interaktion in Agentensystemen beinhaltet die Agentenkommunikationssprache, den Sprechakt, das Interaktionsprotokoll, die Wissensrepräsentationssprache, die Ontologie und den Weltausschnitt oder die -sicht eines

³²² Vgl. Mönch 2006a, S. 90.

Agenten.³²³ Das Schalenmodell, wie es von *Krempels* bezeichnet wird, ist in Abbildung 37 dargestellt. Die genannten Inhalte sind dabei jeweils in die übergeordneten Themengebiete eingeordnet.

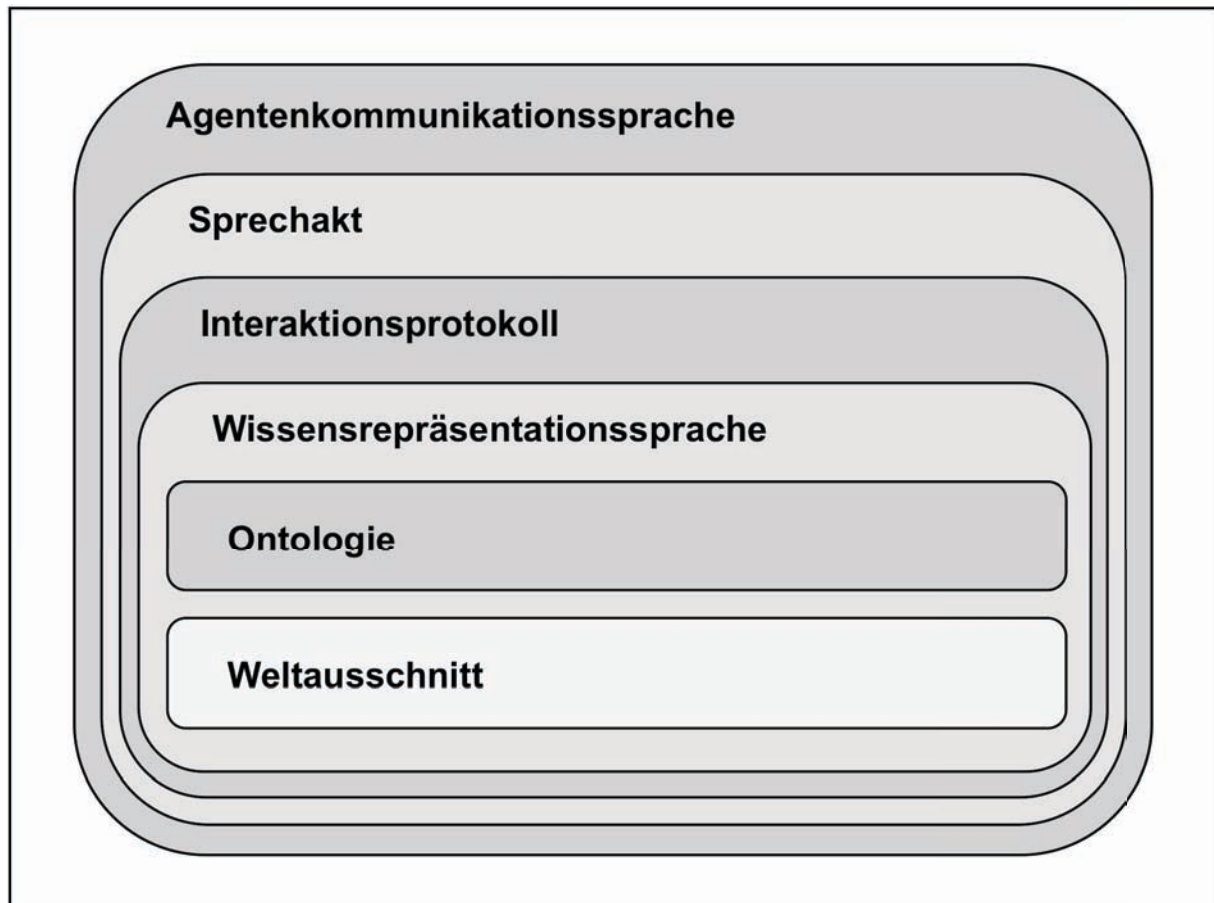


Abbildung 37: Schalenmodell für die Interaktion in Agentensystemen (Quelle: Krempels 2009, S. 13)

Agentenkommunikationssprache

Die Agentenkommunikationssprache bringt die übertragene Nachricht an einen Agenten in Form eines Sprechaktes³²⁴ zum Ausdruck. Die Sprechakte dienen der Kommunikation zwischen den Agenten und sind Voraussetzung für die Zusammenarbeit in intra- oder interorganisationalen Systemen. Die Agentenkommunikationssprache stellt den Agenten für den Austausch von Nachrichten ein Nachrichtenformat zur Verfügung. Die Ausdrucksstärke der Agen-

³²³ Vgl. Krempels 2009, S. 13 und FIPA-SC00001L 2002.

³²⁴ Vgl. zur Sprechakt-Theorie Austin 1962 oder Austin 1985.

tenkommunikationssprache bietet den Agenten die Möglichkeit, die Sprechakte zu interpretieren, zu verstehen und darauf aufbauend Aussagen zu treffen. Die Darstellung oder Codierung der Aussagen kann dann von den Agenten wiederum individuell vorgenommen werden. Die Agentenkommunikationssprache hilft zudem, teilnehmende Agenten zu identifizieren und den Konversationsverlauf zu kontrollieren.³²⁵

Beispiele für existierende Agentenkommunikationssprachen sind die FIPA-Agent Communication Language (FIPA-ACL) oder die Knowledge Query and Manipulation Language (KQML).³²⁶ KQML besteht beispielsweise aus 36 Sprechakten. Die Vorteile der FIPA-ACL sind die bessere Konversationsverlaufskontrolle und der höhere Formalitätsgrad der spezifizierten Sprechakte.³²⁷ Die Struktur einer FIPA-ACL Nachricht ist in Tabelle 11 dargestellt.

Feldname	Beschreibung	Zweck
<i>per formative</i>	Typ des Sprechakts der Nachricht	Nachrichtentyp
<i>sender</i>	Identität des Absenders der Nachricht	Konversations- teilnehmer
<i>receiver</i>	Identität des Empfängers der Nachricht	
<i>reply – to</i>	Identität des Empfängers der Antwort	
<i>content</i>	Inhalt der Nachricht	Inhalts- beschreibung
<i>language</i>	Beschreibungssprache des Nachrichteninhalts	
<i>encoding</i>	Zeichencode für den Nachrichteninhalt	
<i>ontology</i>	Name der verwendeten Ontologie	
<i>protocol</i>	Name des Interaktionsprotokolls	Konversations- kontrolle
<i>conversation – id</i>	Eindeutiger Bezeichner der Konversation	
<i>reply – with</i>	Bezug für die Antwort	
<i>in – reply – to</i>	Bezug der Antwort	
<i>reply – by</i>	Spätester Antwortzeitpunkt	

Tabelle 11: Struktur einer FIPA-ACL-Nachricht (Quelle: Krempels 2009, S. 17)

³²⁵ Vgl. Krempels 2009, S. 16; FIPA-SC00001L 2002 und FIPA-SC00037J 2002.

³²⁶ Vgl. Krempels 2009, S. 16. Vgl. hierzu auch Fox et al. 2000, S. 170-171; Luck et al. 2003; FIPA-SC00061G 2002; Finin et al. 1997; Weiß 1999 und Wooldridge 2009.

³²⁷ Vgl. Krempels 2009, S. 17. Vgl. hierzu auch Labrou/Finn 1997; Finin et al. 1997 und FIPA-SC00037J 2002.

Sprechakte

Ein Sprechakt ist die formale Äußerung eines Individuums und wird durch den Versand von Nachrichten in der Agententechnologie nachgebildet, wobei eine Äußerung die Handlung eines Agenten repräsentiert. Dies kann zum einen das Aussprechen einer Meinung oder die Verkündung einer Aktion sein. Die Sprechakte basieren auf der Sprechakte-Theorie nach *Austin* und *Searle*.³²⁸

Die Sprechakte werden darin in fünf Klassen unterschieden:³²⁹

- *Representatives* – informieren den Angesprochenen/Empfänger und bestätigen die Wahrheit einer Aussage,
- *Directives* – fordern den Angesprochenen/Empfänger auf, eine Aktion auszuführen,
- *Commissives* – bestätigen beziehungsweise versprechen den Angesprochenen/Empfänger eine Aktion auszuführen,
- *Expressives* – drücken psychologische Zustände wie Dank, Bedauern oder Freude aus,
- *Declarations* – geben eine Haltungs- oder Einstellungsänderung bekannt.

Ein Sprechakt setzt sich aus drei Teilen und grundlegenden Bedingungen zusammen:³³⁰

- Identifizierung der Kommunikationspartner,
- Ausführbarkeit des Sprechaktes und
- Wirkung des Sprechaktes.

Interaktionsprotokolle

Die Reihenfolge der Sprechakte wird durch Interaktionsprotokolle festgelegt, welche den Konversationsfluss steuern und dadurch die Möglichkeit für eine ordentliche Kommunikation zwischen den Agenten eröffnen. Interaktionsprotokolle basieren auf Mustern, die im Konversationsfluss zwischen Individuen zu erkennen sind. Muster sind bestimmte Situationen, in denen die Kommunikation immer nach dem gleichen Schema und in einem bestimmten Rahmen ver-

³²⁸ Vgl. Austin 1962; Austin 1985 und Searle 1969.

³²⁹ Vgl. Krempels 2009, S. 19-20.

³³⁰ Vgl. Krempels 2009, S. 20.

laufen, wie sie beispielsweise bei dem Fragen nach der Uhrzeit oder in einem Verhandlungsgespräch zu finden sind. Die typischen Sprechakte und Muster der jeweiligen Situationen werden in den Interaktionsprotokollen abgespeichert und festgelegt.

Die FIPA Interaktionsprotokolle stellen den Agenten zum Beispiel Sprechakte in Entscheidungsräumen zur Verfügung, die für bestimmte Situationen genutzt werden können. Die beteiligten Agenten suchen dabei in den Entscheidungsräumen nach existierenden Sprechakten, die sie für ihre Aktion oder Reaktion wählen können.

Das FIPA Request Interaction Protocol dient beispielsweise der Aufforderung zur Ausführung einer Aktion. Die Agenten haben dabei die Möglichkeit, die Aufforderung auszuführen oder abzulehnen. Dazu stehen ihnen beispielsweise die Sprechakte *agree* und *refuse* zur Verfügung. Für folgende Bereiche hat die FIPA weitere Interaktionsprotokolle standardisiert:³³¹

- Ausführung zur Aufforderung bestimmter Aktionen,
- bedingte und deskriptive Anfragen an Agenten,
- Aufforderung zur Ausführung von zeitlich bedingten Aktionen,
- Koordination von Agenten,
- Abschluss von Verträgen und
- Anwerbung von Agenten für die Bearbeitung gemeinsamer Ziele.

Wissensrepräsentationssprachen

Die Aussagen in Sprechakten von Individuen oder Agenten beinhalten einen Teil ihres Gesamtwissens. Für die Verarbeitung und Interpretation dieses Wissens ist eine Wissensrepräsentation erforderlich. Da dies auf vielfältige Weise möglich ist, existieren verschiedene Wissensrepräsentationssprachen, welche die Darstellung des Wissens unterstützen. Agenten können für die Verarbeitung und Interpretation ihres Wissens unterschiedliche Wissensrepräsentationssprachen verwenden. Beim Menschen erfolgen sie beispielsweise über die

³³¹ Vgl. Krempels 2009, S. 24.

Kommunikation der natürlichen Sprache in Wort und Schrift. Die Wissensrepräsentationssprache im FIPA-Standard ist die FIPA Semantic Language.³³²

Ontologien

Die Bedeutung von Begriffen und die Beschreibung von Wissen werden in Ontologien abgelegt. Ontologien beinhalten Begriffsbeschreibungen und stellen die Beziehungen zueinander dar. Sie werden dazu verwendet, das gleiche Begriffsverständnis und durch die Beziehungen zueinander das gleiche Wissensverständnis zu erreichen. In Abhängigkeit vom Einsatz- und Anwendungsgebiet können Ontologien sehr komplex und speziell sein.³³³ In Abschnitt 4.7.1.6 wird eine Ontologie für den Bereich der rückführenden Logistik näher betrachtet.

Weltausschnitt

Der Weltausschnitt oder die Weltsicht eines Agenten basiert auf seinem vorhandenen oder zugänglichen Wissen. Das in seiner Wissensbasis abgelegte Wissen wird durch die Interaktion mit anderen Agenten ständig verändert und erweitert. Die Wissensrepräsentationssprache hilft, das vorhandene oder zugängliche Wissen zu interpretieren, zu schlussfolgern und zu lernen. Die Wissensbasis beschreibt die Welt eines Agenten und richtet sein Handeln danach aus. Der damit verbundene Sprechakt und die Äußerung des Agenten, spiegeln seine Welt beziehungsweise einen Weltausschnitt daraus wider.³³⁴

Ein weiteres Instrument für die Kommunikation und Koordination zwischen Agenten ist das Contract Net Protocol (CNP). Das CNP wurde für die verteilte Problemlösung in Agentensystemen entwickelt. Es stellt wie das FIPA-Referenzmodell eine Reihe von Regeln zur Verfügung, die für die Interaktion und Kommunikation in MAS genutzt werden können.³³⁵

³³² Vgl. Krempels 2009, S. 25 und FIPA-SC000081 2002. Vgl. zur weiteren Betrachtung der Wissensrepräsentation Brachman/Levesque 2004 oder Lakemeyer/Nebel 1994.

³³³ Vgl. Krempels 2009, S. 29; Gruber 1995, S. 908-909 und Gruber 1993, S. 200-202.

³³⁴ Vgl. Krempels 2009, S. 31-32.

³³⁵ Vgl. Wu 2008, S. 1052.

Das Contract Net beziehungsweise das Agentensystem für das das Protokoll zum Einsatz kommt, besteht aus bestimmten Netzwerkknoten und Nachrichtentypen, die für die Problemlösung Anwendung finden. Die Netzwerkknoten repräsentieren die Agenten in dem verteilten System und werden in drei Klassen unterschieden:³³⁶

- Manager – identifiziert Tätigkeiten sowie Aufgaben und beauftragt die anderen Netzwerkknoten diese auszuführen.
- Anbieter – bieten ihre Ressourcen zum Ausführen der Tätigkeiten und Aufgaben an.
- Auftragnehmer – ist ein erfolgreicher Anbieter, dessen Angebot vom Manager akzeptiert wurde.

Die Netzwerkknoten kommunizieren über die im Folgenden aufgeführten verschiedenen Nachrichtentypen:³³⁷

- Ausschreibung – damit gibt der Manager die Beschreibung für die Ausführung einer Tätigkeit und Aufgabe bekannt und legt die Angebotskriterien fest.
- Angebote – werden von den Anbietern gesendet und erklären die Bereitschaft und die Befähigung, die Tätigkeiten und Aufgaben auszuführen.
- Zuschlag – wird vom Manager an den erfolgreichen Anbieter übermittelt und erteilt damit die Ausführung der Tätigkeit und Aufgabe.
- Bestätigung – der Anbieter nimmt mit dieser Nachricht die auszuführende Tätigkeit und Aufgabe an oder lehnt sie ab.
- Berichte – darin informieren die Anbieter die Manager über den aktuellen Status oder den vorzeitigen Abbruch ihrer auszuführenden Tätigkeiten.
- Aufkündigung – der Manager sendet damit die Anweisung für die vorzeitige Beendigung oder Unterbrechung der auszuführenden Tätigkeiten an die Anbieter.
- Verfügbarkeit – die Anbieter teilen dadurch ihre Verfügbarkeit und freistehenden Ressourcen mit.

³³⁶ Vgl. Parunak 1987, S. 285-286.

³³⁷ Vgl. Parunak 1987, S. 286.

- Nachkorrektur – bei möglichen Schwierigkeiten oder eintretenden Problemen teilen die beteiligten Partner ihr Anliegen zur Nachkorrektur mit.

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die weiterführende Literatur zum CNP verwiesen.³³⁸

4.7.1.6 Ontologie zum Datenaustausch

Ontologien spielen beim Austausch von Begriffen, Informationen oder Daten eine große Rolle. Für das Deuten und Interpretieren von Begriffen, Informationen oder Daten ist Verständnis und Wissen erforderlich. Dieses ist von Individuum zu Individuum oder von Agent zu Agent unterschiedlich ausgeprägt. Für die Zusammenarbeit in einem Netzwerk oder in einem MAS ist es wichtig, über ein einheitliches Verständnis und Wissen zu verfügen. Diese gemeinsame Verständnis- und Wissensbasis dient dazu, Fehldeutungen oder -interpretationen von Begriffen, Informationen und Daten zu vermeiden. Ontologien haben zum Ziel, divergierende Wissenshintergründe zu beseitigen, Begriffe, Informationen oder Daten einheitlich zu verstehen, zu deuten und zu interpretieren sowie die gemeinsam geschaffene Verständnis- und Wissensbasis in einem Netzwerk oder MAS wieder zu verwenden.³³⁹

Die Agenten in einem MAS oder verschiedener MAS können beispielsweise von unterschiedlichen Institutionen oder Programmierern entwickelt worden sein und greifen auf verschiedene Standards zurück. Dabei kann es vorkommen, dass der Wissenshorizont und das Wissensverständnis ungleich sind. Dadurch können Wissensbarrieren oder -repräsentationen entstehen und daraus resultierende Handlungen missverstanden werden. Um dies zu vermeiden, greifen die Agenten bei ihrer Kommunikation auf eine gemeinsam genutzte Ontologie mit einem einheitlichen Vokabular zurück, um eine ergebnisführende Kommunikation zu gewährleisten.³⁴⁰ Abbildung 38 stellt diesen Vorgang dar.

³³⁸ Vgl. Smith 1980; Smith/Davis 1981; Ouelhadj et al. 2003 oder Shen et al. 1998.

³³⁹ Vgl. Obitko/Marik 2002, S. 597; Paulussen et al. 2003, S. 69 und Dittmann 2007, S. 74.

³⁴⁰ Vgl. FIPA-XC00086D 2001.

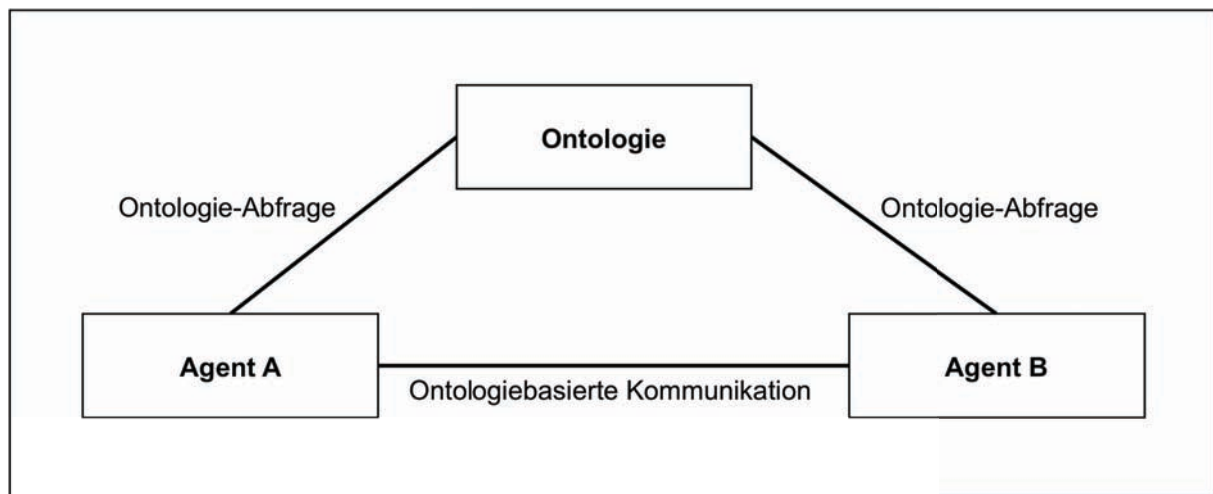


Abbildung 38: Ontologiebasiertes Kommunikationsmodell (Quelle: FIPA 2000, S. 2)

Die Entwicklung und die Erstellung einer gemeinsamen Ontologie erfolgt in zwei Schritten. Die Konzeptualisierung eines Einsatzgebietes stellt die Rahmenbedingungen dar, in denen die Ontologie Anwendung finden wird. Die Spezifizierung der Konzeptualisierung im zweiten Schritt beschreibt das Einsatzgebiet anhand von Begriffen, die in der Ontologie festgelegt werden.³⁴¹

Ein Problem bei der Ontologieerstellung ist die fehlende Überschneidungsfreiheit der einzelnen Bereiche im Einsatzgebiet und die dadurch auftretende Überlappung von Begriffsbeschreibungen. Eine Lösung für das Problem ist die Aufteilung des Konzeptes für das Einsatzgebiet in Konzeptklassen. Am Beispiel der rückführenden Logistik wird ein Vorschlag für Konzeptklassen beschrieben. Für jede Klasse werden Begriffe definiert, die für die abgrenzende und überschneidungsfreie Ontologieerstellung genutzt werden können.³⁴² Tabelle 12 zeigt diese Klassifizierung.

³⁴¹ Vgl. Mönch/Stehli 2003, S. 158 und Obitko/Marik 2002, 597.

³⁴² Vgl. Paulussen et al. 2003, S. 70-72.

Zeitkonzept	– beinhaltet Begriffe, die zeitliche Konzepte wie zum Beispiel Datum, Zeitpunkte, -intervalle oder -dauern beschreiben sowie abstrakte Begriffe wie „jetzt“ oder „heute“.
Rückführungskonzept	– die Begriffe drücken den Teilbereich der Rückführung von Materialien in den Stoffkreislauf aus wie zum Beispiel Altprodukte und Reststoffe, Sammeln, Transportieren, Lagern oder Bereitstellen für die Aufarbeitung und Aufbereitung.
Aufarbeitungs- und Aufbereitungskonzept	– stellt den Prozess der Aufarbeitung und Aufbereitung mit Hilfe von Begrifflichkeiten wie etwa Verwendung, Verwertung, Demontage, Testen, Prüfen, Reinigen, Trennen oder Sekundärrohstoffe dar.
Wiedereinsatzkonzept	– gibt den Wiedereinsatz durch Termini wie Lagern, Transportieren oder Verteilen wieder.
Mitarbeiterkonzept	– sammelt Begriffe, welche das Personal im Bereich der Rückführungslogistik beschreibt wie zum Beispiel Qualifikationen oder Rollen.
Bewertungskonzept	– drückt die Bewertung der Planung und Disposition sowie für alle weiteren Entscheidungszwecke in der Rückführungslogistik aus, dabei werden Bewertungen zum Beispiel mit Hilfe eines Notensystems oder relative Bewertungen wie etwa „besser als“ unterschieden.
Terminierungskonzept	– die Begriffe der Terminierung und Disposition der Rückführung sowie insbesondere für die Aufarbeitung und Aufbereitung der Rückstände zu Sekundärrohstoffen verbalisieren Aufgaben, Termine, Zeiten oder benötigtes Personal und Ressourcen.
Dokumentenkonzept	– bringt die Dokumente und deren Format und Inhalte durch Begriffe zum Ausdruck, – der Standard für Informationssysteme wird hier ebenfalls berücksichtigt.
Organisationskonzept	– die Beschreibung der Organisations- und Funktionseinheiten, die Ressourcen und Dienstleistungen im Rahmen der Rückführungslogistik anbieten, findet im Organisationskonzept statt.

Prozesskonzept	<ul style="list-style-type: none"> – die Basis- und Ergänzungsprozesse werden durch Begriffe im Prozesskonzept repräsentiert, – dabei werden Prozesse wie zum Beispiel Produktions-, Logistik- oder Serviceprozesse die aus Sequenzen und Alternativen bestehen und zum Teil nur von speziellen Funktionseinheiten, Ressourcen oder Personen ausgeführt werden berücksichtigt.
Objektkonzept	<ul style="list-style-type: none"> – beschreibt alle realen Objekte wie Räume, Geräte, Vorräte oder Mobiliar und Personen wie Kunden, Lieferanten oder Händler.

Tabelle 12: Konzeptklassen für die Ontologieerstellung

An einem einfachen Beispiel wird in Abbildung 39 das Prinzip der Ontologieerstellung und die Spezifizierung von Begriffen verdeutlicht.

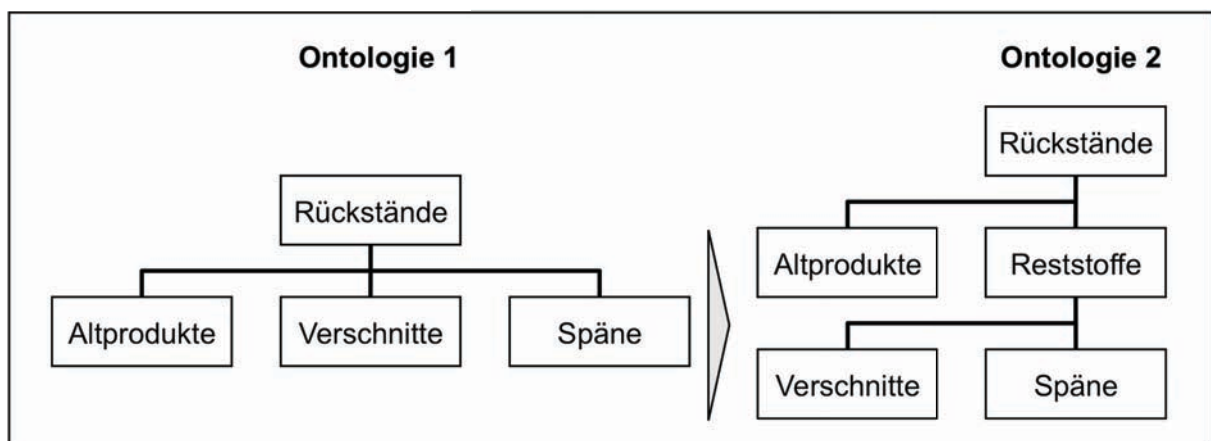


Abbildung 39: Prinzip der Ontologieerstellung und Spezifizierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an FIPA 2000, S. 9)

4.7.2 Dynamische Disposition

4.7.2.1 Ansätze für die Durchführung

Die Durchführung der Disposition für die Redistribution von Rückständen, die Erzeugung sowie den Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen unterliegt dynamischen Umfeldbedingungen. Auf der Angebots- und der Bedarfsseite existieren schwankende Materialeinsatz- und Materialnachfrageströme. Der Produktionsprozess von Sekundärrohstoffen ist wie bei anderen Produktionsprozessen durch Unsicherheiten wie etwa unerwarteten Ereignissen, Maschinenstill-

ständen oder Kapazitätsengpässen geprägt. Dies führt dazu, dass die Disposition der Sekundärrohstoffproduktion mit Erschwernissen behaftet ist.³⁴³

Wie in Abschnitt 3.4 bereits angesprochen, erscheint es sinnvoll, in der Sekundärrohstofflogistik dynamische Dispositionssysteme anzuwenden. Für die Durchführung der dynamischen Disposition existieren in der Literatur und Praxis verschiedene Ansätze.

In der Literatur wird die dynamische Disposition in verschiedene Kategorien beziehungsweise Durchführungsverfahren gegliedert:³⁴⁴

- **Reaktive Disposition** – Bei der reaktiven Disposition werden die Dispositionsentscheidungen nicht vorausgeplant, sondern erfolgen in reaktionärer, echtzeitnaher Form. Dabei werden häufig Prioritätsregeln³⁴⁵ angewendet. Das heißt, dass derjenige Auftrag zur Bearbeitung ausgewählt wird, der die höchste Priorität hinsichtlich Bearbeitungsdauer, Auftragsfertigstellungs- oder Liefertermin aufweist. Die Priorität eines Auftrages wird durch die Arbeits- und Maschineneigenschaften beeinflusst. Die Dispositionsregeln sind sehr einfach, intuitiv und leicht in ein System implementierbar.
- **Vorausschauend-reaktive Disposition** – Die vorausschauend-reaktive Disposition ist ein vielversprechendes Dispositionsverfahren im Bereich der Fertigungssteuerung. Die Dispositionsentscheidungen werden dabei mit Weitsicht auf zukünftig eintretende und echtzeitnahe Ereignisse geplant und vorbereitet. Das vorausschauend-reaktive Disponieren ist ein zweistufiger Prozess, wobei der erste Schritt die Generierung eines vorausschauenden Dispositionsplans mit dem Ziel ist, die Arbeitsleistung des Fertigungssystems zu optimieren und mögliche Störungen und Unterbrechungen zu identifizieren sowie zu minimieren. Der generierte Dispositionsplan wird während der Aus-

³⁴³ Vgl. Shen/Norrie 1999, S. 134-135.

³⁴⁴ Vgl. Ouelhadj/Petrovic 2009, S. 418-419; Mehta/Uzsoy 1999, S. 17-18; Vieira et al. 2000, S. 1899-1902; Vieira et al. 2003, S. 42-53; Aytug et al 2005, S. 94-99 und Herroelen/Leus 2005, S. 289-291.

³⁴⁵ Vgl. hierzu Abschnitt 3.3.1.

führung als Reaktion auf tatsächlich eintretende Ereignisse in einem zweiten Schritt angepasst und modifiziert.

- Proaktive Disposition – Die proaktive Disposition zielt auf die Bildung von aktiv initiierten Dispositionsplänen unter der Berücksichtigung zukünftiger Leistungskriterien in dynamischen Produktionsumgebungen ab. Die Schwierigkeit dabei ist, die zukünftigen Leistungswerte und die damit verbundenen Maßnahmen zu ermitteln. Mögliche Kriterien für zukünftige Leistungssteigerungen können beispielsweise die Optimierung von Durchlaufzeiten durch die Minimierung von Betriebsausfällen oder die Verringerung von Verspätungen im Produktionsprozess sein. In der Literatur sind dazu Simulationsmodelle zu finden, die in der Arbeit nicht näher erläutert werden.³⁴⁶

4.7.2.2 Dispositionsalgorithmen und -heuristiken

Für die Lösung von Dispositionsproblemen kommen im produktionswirtschaftlichen Umfeld und in der Sekundärrohstofflogistik Dispositionsalgorithmen oder -heuristiken zum Einsatz. Für die Suche nach optimalen Lösungen existiert in der Literatur eine Vielzahl von Algorithmen und Heuristiken. Zwei bekannte Algorithmen die im Bereich der Disposition eingesetzt werden können sind Simulated Annealing (SA) und Genetic Algorithm (GA).

SA ist ein Algorithmus, mit dem optimale Lösungen gefunden und Resultate erzielt werden können, die über die klassische Zielfunktionsmaximierung hinausgehen. SA ist eine globale Optimierungsmethode, die das Finden von lokalen Optima übersteigt.³⁴⁷ Abbildung 40 zeigt beispielhaft ein Ablaufdiagramm des SA Algorithmus.

³⁴⁶ Vgl. Mehta/Uzsoy 1999 und O'Donovan et al. 1999.

³⁴⁷ Vgl. Sun et al. 2008, S. 84.

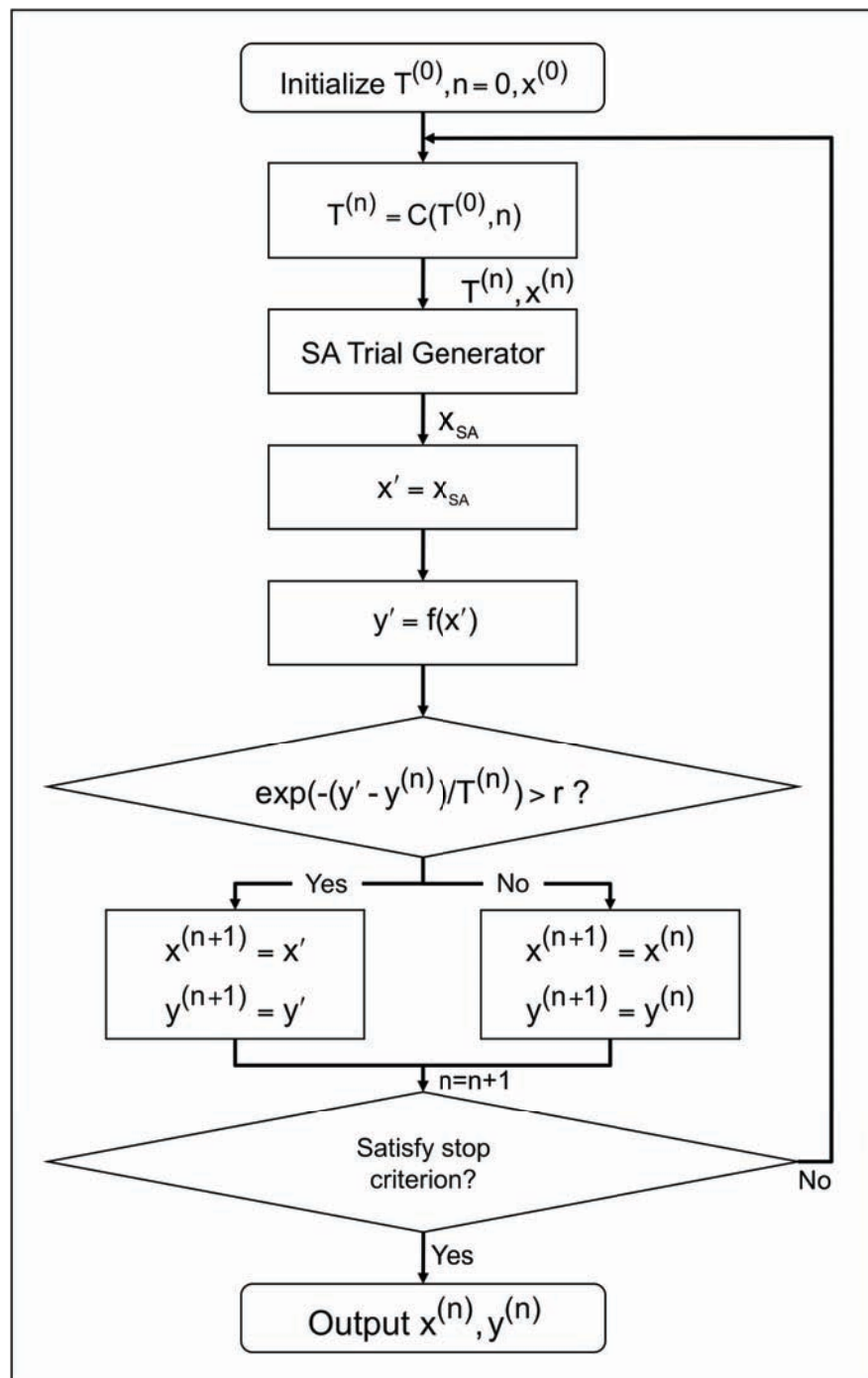


Abbildung 40: Ablaufdiagramm des SA Algorithmus (Quelle: Sun et al. 2008, S. 84)

$T^{(0)}$, $n=0$ und $x^{(0)}$ stellen den Ausgangs- beziehungsweise den Initialisierungszustand eines Systems dar. Für die sukzessive Optimierung des Systems werden für die kommenden Zeitpunkte $n=n+1$ neue Systemzustände $x' \in G(x^{(n)}, T^{(n)})$ mit Hilfe des Trial Generators auf Basis des vorhergehenden Systemzustandes konfiguriert. Das Akzeptanzkriterium für die neue System-

konfiguration $x' = x^{(n+1)}$ zur weiteren Optimierung ist $\exp(-(f(x') - f(x^{(n)}))/T^{(n)}) > r$. Dabei ist r eine Zahl, die einen Wert zwischen 0 und 1 einnimmt. Wird der neue Zustand x' in Abhängigkeit vom Akzeptanzkriterium angenommen, wird das System neu konfiguriert. Erfüllt diese Konfiguration nicht die Optimalitätskriterien, wird der SA Algorithmus erneut durchlaufen oder bei einer Übereinstimmung mit den definierten Anforderungen abgebrochen.³⁴⁸

Der GA wurde ursprünglich für die Lösung komplexer Problemstellungen im Wissenschaftsgebiet der Informatik entwickelt. Für die Berechnung und die Entwicklung geeigneter Problemlösungen imitiert der Algorithmus evolutionäre Prinzipien. Die Grundidee basiert auf der Fortentwicklung von identifizierten Lösungen von Generation zu Generation. Der Hintergrund ist, dass nur die Lösungen fortbestehen und weiterentwickelt werden, die dem Paradigma des „survival-of-the-fittest“³⁴⁹ entsprechen. Die über mehrere Generationen entwickelte Lösung sollte sich demzufolge als beste und dem Optimum am nahe liegendsten Lösung herausstellen.³⁵⁰

Der Crossover – beziehungsweise die Kreuzung oder Überschneidung – ist der grundlegende Mechanismus des GA,³⁵¹ welcher an einem Beispiel im Bereich der Einzelmaschinen-Disposition erläutert wird. Für die Lösung des Einzelmaschinen-Dispositionproblems mit Hilfe des GA werden sogenannte Chromosomen erzeugt. Die in den Chromosomen enthaltenen Gene repräsentieren die Codierung für die einzelnen auszuführenden Tätigkeiten beziehungsweise die Tätigkeitssequenz.

Für die Instanziierung und Codierung eines Chromosoms nehmen die darin enthaltenen Gene einen Wert zwischen 0 und 1 an. Die Anordnung der bewerteten Gene in den Chromosomen entspricht der auszuführenden Tätigkeitsse-

³⁴⁸ Vgl. Sun et al. 2008, S. 84. Vgl. zur Vertiefung der SA Methode Ingber/Rosen 1992; Hajek 1988 oder Catoni 1992.

³⁴⁹ Das Paradigma verfolgt das natürliche Prinzip des Überlebens des Stärkeren beziehungsweise im Kontext dieser Ausarbeitung die Selektion und Auswahl der besten Lösung. Vgl. hierzu auch Brickley et al. 2003; Masters 2004 oder Davies 2000.

³⁵⁰ Vgl. Bean 1994, S. 154.

³⁵¹ Vgl. Holland 1992, S. 68.

quenz. Die Anordnung der Werte für eine Tätigkeitssequenz einer Einzelmaschinen-Disposition in einem Chromosom könnte wie folgt aussehen:

$$(.46, .91, .33, .75, .51)$$

und entspricht der Tätigkeitssequenz

$$3 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2.$$

Diese Sequenz kann in der Folge nach verschiedenen Zielkriterien wie etwa Dauer der Durchlaufzeit oder verspäteter Lieferzeitpunkt evaluiert und verbessert werden. Mit Hilfe eines benachbarten Chromosoms oder einer weiteren identifizierten Lösung können durch einen Crossover der angeordneten Werte in den Chromosomen neue Tätigkeitssequenzen erzeugt werden. Abbildung 41 zeigt den einfachen One-point Crossover.

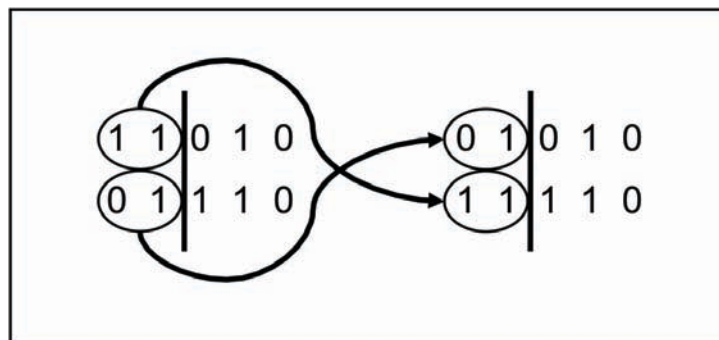


Abbildung 41: One-point Crossover (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bean 1994, S. 155)

An den beispielhaft dargestellten Anordnungen mit den dazugehörigen Sequenzen:

$$(.46, .91, .33, .75, .51) \equiv 3 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2$$

und

$$(.84, .32, .64, .04, .48) \equiv 4 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1$$

wird ein One-point Crossover nach dem zweiten Gen der Chromosomen ausgeführt. Die neu entstandenen und die sogenannten Nachkommen und Generationen lauten:

$$(.84, .32, .33, .75, .51) \equiv 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 4$$

und

$$(.46, .91, .64, .04, .48) \equiv 4 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 3.$$

Die durch den Crossover und der neuen Codierung in den Chromosomen resultierenden Tätigkeitssequenzen bilden neue Arbeitsabläufe. Diese werden nach den entsprechenden Zielkriterien bewertet und auf Verbesserungspotentiale evaluiert. Die entstandenen Tätigkeitssequenzen stellen wiederum die Ausgangsbasis für weitere Optimierungsschritte im GA dar.³⁵²

4.7.2.3 Beispielhafte Darstellung der dynamischen Disposition

Die Ermittlung von Tätigkeitssequenzen oder auch Prozessplänen ist für die Disposition des Produktions- und Logistikablaufs nicht ausreichend. Die verschiedenen Tätigkeitssequenzen und Prozesspläne müssen miteinander kombiniert und in den Produktions- und Logistikablauf eingesteuert werden. Die Kombination und die Einsteuerung kann mit dem GA in Verbindung mit den in Abschnitt 3.3.1 genannten Prioritätsregeln durchgeführt werden. Die folgenden Ausführungen stellen dieses Vorgehen dar. Abbildung 42 zeigt zunächst einen Ausschnitt für den Ablauf der dynamischen Disposition auf Basis des GA und den Prioritätsregeln in einem MAS.

³⁵² Vgl. Bean 1994, S. 154-155.

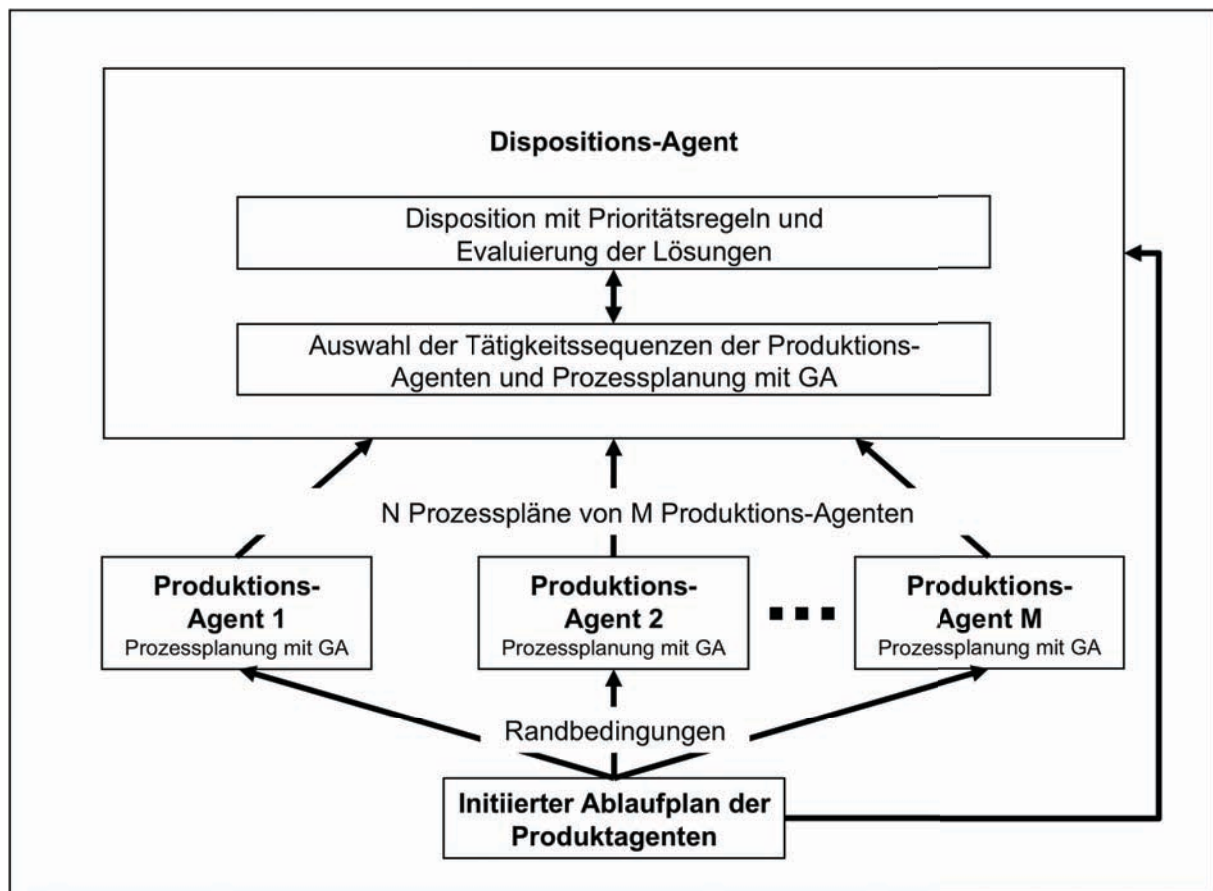


Abbildung 42: GA- und prioritätsregelbasierte dynamische Disposition (Quelle: Suigmura et al. 2007, S. 324)

Zu Beginn werden Arbeitspläne für die Erzeugung der Produkte durch die Produktagenten erstellt, welche der Initiierung der Produktionsprozesse und der dafür notwendigen Disposition dienen. Die Produktionsagenten entwickeln daraufhin auf Grundlage ihrer Optimierungs- und Zielkriterien geeignete Prozesspläne mit Hilfe des GA und übermitteln diese als Vorschlag an den Dispositionsagenten. Der Dispositionsagent kombiniert und optimiert die Prozesspläne ebenfalls unter Verwendung des GA und evaluiert diese nach den entsprechenden Zielkriterien des Gesamtsystems. Im Ergebnis entstehen die Chromosomen beziehungsweise die erzeugten Tätigkeitssequenzen und Prozesspläne für die Disposition der Produktion und Logistik im MAS.

Nach der Erstellung der Tätigkeitssequenzen und Prozesspläne disponiert der Dispositionsagent diese in den laufenden Betrieb eines MAS ein, wobei Kapazitäts- und Ressourcenengpässe oder Belastungsfolgen und Rüstvorgänge

berücksichtigt werden müssen. Eine ganzheitliche, systemweite und optimale Lösung des Dispositionsproblems erfordert einen hohen Berechnungsaufwand und eine hohe Rechenleistung. In der Forschung und in der Literatur werden für die Lösung von Dispositionsproblemen Prioritätsregeln vorgeschlagen. Die Disposition und die Einsteuerung einer Tätigkeitssequenz oder eines Prozessplanes auf die freien oder frei werdenden Ressourcen erfolgt nach einer bestimmten Reihenfolge, die durch gewisse Vorrechte oder Privilegien festgelegt wird. Die Vorrechte und Privilegien werden durch die entsprechende Prioritätsregel definiert, nach welcher der aktuelle Produktions- und Logistikprozess gesteuert wird. Wenn beispielsweise die Kürzeste Operationszeit-Regel (KOZ-Regel) Anwendung findet, werden die Tätigkeiten und Prozesse mit der geringsten zeitlichen Arbeitsbeanspruchung an der jeweiligen Ressource oder Maschine bevorzugt behandelt. Erfolgt die Disposition nach der Größten Restbearbeitungszeit-Regel (GRB-Regel) werden, zuerst die Tätigkeiten und Prozesse in den Produktions- und Logistikprozess eingesteuert, welche die längste Restbearbeitungszeit auf den verbleibenden Arbeitstationen aufweisen.³⁵³

Der beschriebene Dispositionsablauf ist vergleichbar mit der stufenweisen Dispositionshierarchie, wie sie von *Heragu et al.* beschrieben wird und in Abbildung 43 zu sehen ist.

³⁵³ Vgl. Sugimura et al. 2007, S. 323-327.

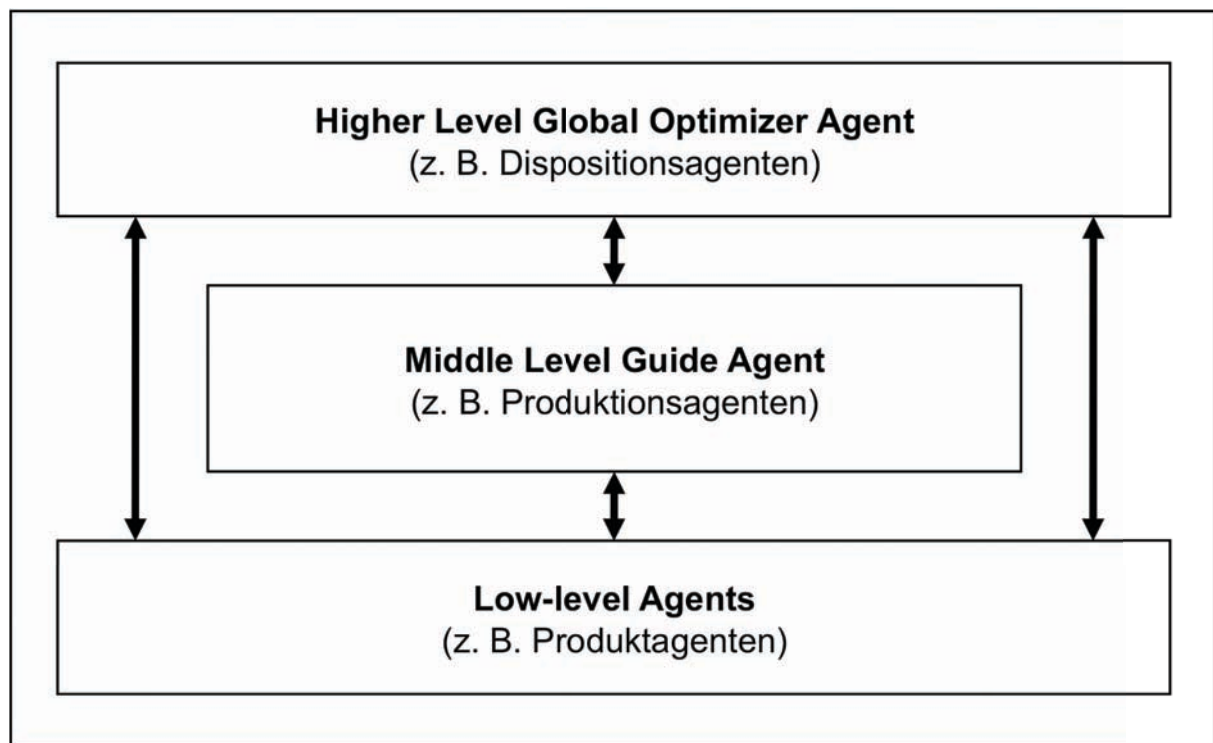


Abbildung 43: Dispositionshierarchie (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Heragu et al. 2002, S. 569)

Heragu et al. definieren drei Ebenen in denen die Disposition auf Agentenebene durchgeführt wird – low-level, middle-level guide und higher level global optimizer agents. Die unterste Hierarchieebene wird von den Produktagenten repräsentiert. Sie geben durch die Produktbeschreibungen, Baupläne oder Materialstücklisten die erforderlichen Arbeitsschritte und -sequenzen oder notwendige Maschinen und Ressourcen vor. Auf der mittleren Hierarchieebene agieren die Produktionsagenten, die Dispositionsvorschläge für die Herstellung und Fertigung der Produkte erzeugen. Die Agenten der obersten Hierarchieebene generieren mit ihrer globalen Systemperspektive ganzheitliche und optimale Dispositionspläne. Dazu verwenden sie die vorgeschlagenen Dispositionspläne der mittleren Hierarchiestufe und setzen diese zu globalen Dispositionsplänen, die im Sinne der verfolgten Zielkriterien des Gesamtsystems ein globales Optimum bilden, zusammen. Die Agenten der obersten Hierarchiestufe sind mit den oben genannten Dispositionsagenten vergleichbar.³⁵⁴

³⁵⁴ Vgl. Heragu et al. 2002, S. 569.

Die Dynamische Disposition für das System der rückführenden Logistik und im Besonderen für die Sekundärrohstofflogistik in einem MAS wird in den folgenden Ausführungen diskutiert.

Das MAS in der Sekundärrohstofflogistik erstreckt sich über die Teilbereiche Redistribution, Aufarbeitung und Aufbereitung sowie Wiedereinsatz. Die im MAS integrierten Agenten haben in Abhängigkeit von den zugehörigen Teilbereichen verschiedene Aufgaben und Dispositionsprobleme zu lösen, was durch die Ausstattung der Agenten mit mathematischen Modellen, Lösungsalgorithmen oder Instrumenten ermöglicht wird. In der Literatur sind verschiedene Verfahren und Modelle für die Gestaltung und Lösung von produktions- und logistikrelevanten Aspekten im Bereich der Reverse Logistics zu finden.

Die Idee hinter dem Ansatz in dieser Arbeit, ist die Adaption dieser bereits existierenden und bestehenden Modelle um relevante Aspekte für die Sekundärrohstofflogistik und die Integration der aufgefundenen Lösungen in ein MAS.

Dekker et al. präsentieren in ihrem Beitrag eine Zusammenstellung von inhaltlichen Fragestellungen in der Reverse Logistics, Modellierungsansätzen für die Entscheidungsfindung und deren Lösung sowie die Beziehung zu traditionellen Verfahren. In Tabelle 13 wird die englischsprachige Zusammenstellung wiedergegeben.

Topic	Methodology	Related traditional models
product return forecasting	time series analysis	demand forecasting models
reverse logistics network design	MILP, stochastic programming	facility location models
	continuous approximation	logistics cost models
collection and distribution vehicle routing	MILP, continuous approximation	vehicle routing models
return handling and warehousing	–	facility layout models, order-picking models
lot sizing in product recovery	continuous optimization, MILP	EOQ, dynamic lot-sizing models
stochastic inventory control in product recovery	Markov decision processes	stochastic inventory control models
	stochastic optimization	news vendor model
dynamic product recovery	optimal control theory	optimal control models
production planning for product recovery	MILP, continuous optimization	MRP, aggregate production planning
inventory valuation	net present value analysis	EOQ, stochastic inventory control models
coordination in closed-loop supply chains	game theory	supply chain contracts
long-term analysis of closed-loop supply chains	system dynamics	industrial dynamics models
environmental management	life-cycle analysis	life-cycle analysis
economic and environmental performance	MILP, LP	network flow/facility location models
information technology	–	–

Tabelle 13: Modellierungsansätze für die Entscheidungsfindung in der Reverse Logistics (Quelle: Dekker et al. 2004a, S. 37)

Tabelle 13³⁵⁵ stellt in Verbindung mit den dynamischen Dispositionstechniken in Abschnitt 3.3 einen Baukasten dar, aus dem die verschiedenen Agenten Modelle entnehmen können, die sie unter den aktuellen Gegebenheiten und Zielkriterien im System der Sekundärrohstofflogistik für die dynamische Disposition benötigen. Für einzelne Agenten im MAS der Sekundärrohstofflogistik wird beispielhaft der Prozess der Adaption und Ergänzung der vorhandenen Modelle sowie die Integration in die Datenbasen der Agenten und die Nutzung für die dynamische Disposition gezeigt.

Die Redistributionsagenten sind für die Sammlung, den Transport und die Lagerung der Rückstände zuständig. Für die Sammlung ist es notwendig, bekannte, aber auch unbekannte Entstehungs- und Anfallorte zu identifizieren. Des Weiteren ist es erforderlich, Kenntnisse über die zeitliche Verfügbarkeit sowie die Arten und Mengen der Rückstände zu erwerben. Wie in Abschnitt 2.4.2.8 erwähnt, besteht jedoch eine gewisse Unsicherheit, welche durch den Einsatz von Prognosemethoden verringert werden kann. Die Vorhersageagenten beziehungsweise die Entwickler und Programmierer von MAS greifen hier auf bereits existierende und bestehende Forecasting-Modelle zurück, adaptieren und ergänzen sie um Methoden für die Vorhersage von Rückständen und integrieren sie in die Datenbanken und Problemlösungsmodule der Agenten. Die Integration verschiedener Varianten und Algorithmen für die Vorhersage von Rückständen erlaubt den Agenten, flexibel und dynamisch auf die Prognose unterschiedlicher Rückstandsarten zu reagieren. Dies verringert die Unsicherheiten der Vorhersage von Rückstandsverfügbarkeiten und erhöht gleichzeitig den Informationsbestand zu vorhandenen Rückständen. Die Informations- und Datenbasis zu den aktuell vorhandenen und zukünftig verfügbaren Rückständen geben die Vorhersageagenten an die Aufarbeitungs- und Aufbereitungsagenten weiter, welche dadurch im Voraus ihre Prozesse besser planen, stabilisieren und optimal sowie effizient gestalten können. Für die Termin- und Tourenplanung zur Sammlung der Rückstände und für die mögliche Lagerung stehen zum Beispiel den Transport- und Lageragenten ebenfalls Modelle zur Verfügung, die für die entsprechenden Situationen und Zielkriteri-

³⁵⁵ Vgl. zu den Modellierungsansätzen und Modellen in Tabelle 10 die Beiträge der Autoren in den einzelnen Kapiteln des Herausgeberwerkes von Dekker et al. 2004b.

en in die Agenteninfrastruktur integriert und zur dynamischen Disposition genutzt werden können.

Ein ähnliches Vorgehen findet für die Agenten im Bereich der Aufarbeitungs- und Aufbereitungslogistik Anwendung. Für die Zerlegung der Rückstände und die Gewinnung von Sekundärrohstoffen stehen den Demontage-, Separierungs-, Test- und Prüf- oder Produktionsagenten dynamische Produktionsplanungstools speziell für die Produkt- und Materialrückführung zur Verfügung. Bei der Adaption und Ergänzung dieser Modelle sind im Besonderen die unsicheren Materialströme in qualitativer und quantitativer Hinsicht zu berücksichtigen. Des Weiteren sind Aspekte der Verwertbarkeit und Ergiebigkeit der Rückstände in die Adaption und Ergänzung der Modelle einzubeziehen, da diese Aspekte die Ausbringungsmenge und den Gütegrad der Sekundärrohstoffe beeinflussen. Für die Reaktion auf die zeitlichen, mengen- und qualitätsmäßigen Unsicherheiten wurde die Bildung von dynamischen Sicherheitsbeständen vorgeschlagen. Dazu stehen den Lageragenten zum Beispiel Modelle für eine stochastische Bestandsdisposition zur Verfügung, die wiederum in die Datenbasis der Agenten integriert werden können. Bei der Adaption und Ergänzung der stochastischen Bestandsdisposition sind zusätzlich die bedarfsseitigen Nachfrageschwankungen zu berücksichtigen.³⁵⁶

Für die Agenten im Bereich des Wiedereinsatzes der gewonnenen Sekundärrohstoffe wird das beschriebene Verfahren der Adaption, Ergänzung und Integration der Modelle und Dispositionstechniken ebenfalls angewendet. Aufgrund der Duplizität der Vorgehensweisen, wird auf eine nähere Betrachtung an dieser Stelle verzichtet.

Die dynamische Disposition des gesamten Systems der Sekundärrohstofflogistik erfolgt soweit wie möglich in autonomer Weise auf Agentenbasis. Die Wege der benötigten Informationen und getroffenen Entscheidungen der Agenten werden zu Beginn der Modellierung des MAS festgelegt und fließen daraufhin selbständig durch das Gesamtsystem. Die Agenten reagieren dabei in bestimmten Arten und Weisen und tragen ihren Teil zur Erzeugung von Sekun-

³⁵⁶ Vgl. Abschnitt 3.2.3.1.

därrohstoffen bei. Im Falle von unvorhergesehen Ereignissen, konkurrierenden Tätigkeitssequenzen und Prozessplänen, kritischen Situationen sowie konflikthärer oder übergeordneter Zielkriterien findet die oben genannte Dispositionshierarchie Berücksichtigung. Dabei werden aus den Dispositionsplänen und -entscheidungen der unteren Hierarchieebene von der darüberliegenden Hierarchieebene globale Dispositionspläne unter Berücksichtigung der jeweiligen Ereignisse und Situationen gebildet. Bei der Bildung globaler Dispositionspläne beziehungsweise bei der Einsteuerung der Tätigkeiten und Prozesse in den Produktions- und Logistikprozess können, wie oben beschrieben, ebenfalls Prioritätsregeln zum Einsatz kommen.³⁵⁷

Für das System der Sekundärrohstofflogistik sieht die Dispositionshierarchie zum Beispiel wie folgt aus: Die Agenten der Teilbereiche Redistribution, Aufarbeitung und Aufbereitung sowie Wiedereinsatz übermitteln im Falle einer Dispositionshierarchie ihre Dispositionspläne und -entscheidungen an die jeweiligen Manager- beziehungsweise Bereichsagenten. Diese erstellen globale Dispositionspläne für ihren zuständigen Teilbereich. Im Falle einer weiteren Hierarchisierung geben die Bereichsagenten die Dispositionspläne und -entscheidungen der unteren Hierarchieebenen oder die globalen Dispositionspläne der Teilbereiche an die Manager- beziehungsweise Systemagenten weiter. Die Systemagenten erzeugen im Ergebnis einen globalen Dispositionsplan für das Gesamtsystem der Sekundärrohstofflogistik.

Die in diesem Abschnitt beispielhaft beschriebene Darstellung der dynamischen Disposition in der Sekundärrohstofflogistik führt aufgrund des iterativen und heuristischen Charakters zu keiner exakten oder genauen Dispositionslösung. Sie stellt eine mögliche Vorgehensweise für die multiagentenbasierte dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik dar. Für die Lösung des Dispositionsproblems in der Sekundärrohstofflogistik mit der vorgestellten Methodik ist die Installation eines MAS sowie die Anwendung und Implementierung der vorgestellten Modell- und Dispositionsalgorithmen erforderlich.

³⁵⁷ Vgl. Cavalieri et al. 2000, S. 143; Heragu et al. 2002, S. 569 und Suigmura 2007, S. 323-327.

Die komplette und praxisnahe Zusammenführung und Integration der genannten Komponenten in Abschnitt 4.7 sowie die exakte mathematische Modellierung für die Dynamische Disposition mit Hilfe eines MAS in der Sekundärrohstofflogistik ist für diese Arbeit zu umfang- und facettenreich und wird in weiteren Forschungsarbeiten verfolgt. In Bezug dazu wird auf die Arbeiten in den entsprechenden Fachgebieten verwiesen. Darin sind eine Vielzahl von Modellen und mathematischen Formulierungen zu finden, die für die Dispositionssysteme der Unternehmen übertragen und genutzt werden können.³⁵⁸

4.7.2.4 Dynamische Dispositionsszenarien

Ein wichtiger und zu ergänzender Aspekt ist die Frage, welches Zielsystem die Disposition in den Unternehmen verfolgt. Die Disposition von Produktions- und Logistiksystemen kann unter verschiedenen Gesichtspunkten beziehungsweise Optimierungs- und Zielkriterien erfolgen. Dabei bieten sich Aspekte wie Kosten-, Bestands- oder Durchlaufzeitminimierung an.

Für die Durchführung existieren verschiedene Dispositionsszenarien, welche die genannten Aspekte in ihren Dispositionsabläufen berücksichtigen. Dadurch ist eine flexible Reaktion auf veränderte Rahmenbedingungen oder Strategien in den Unternehmen möglich. Die Dispositionsszenarien greifen dabei auf unterschiedliche Techniken und Instrumente zurück oder kombinieren Dispositionsansätze, die für das jeweilige Zielsystem sinnvoll sind.³⁵⁹ In der Literatur werden beispielsweise kosten-, bestands- oder durchlaufzeitbasierte Verteilmechanismen unterschieden, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Kostenbasierter Verteilmechanismus

Der kostenbasierte Verteilmechanismus hat das Ziel, die entstehenden Kosten der Disposition in einem Produktions- und Logistiksystem zu minimieren. Im Dispositionsablauf des kostenbasierten Verteilmechanismus werden Tätigkeitssequenzen und Prozesspläne generiert, die die geringsten Kosten verur-

³⁵⁸ Vgl. hierzu zum Beispiel Scholz-Reiter et al. 2011; Riezebos et al. 2011a; Riezebos et al. 2001b; Gafarov et al. 2010; Ou/Wein 1995; Gudehus 2006; Jung/Jeong 2005; Sikora/Shaw 1997; Junzhou et al. 2007; Reis/Mamede 2002 und im Besonderen für den Bereich der Reverse Logistics Dekker et al. 2004b oder Wutz 2008.

³⁵⁹ Vgl. Dorn et al. 1996, S. 349-350 und Gudehus 2006, S. 15-16.

sachen. Unabhängig davon, wie sich die Bestände oder Durchlaufzeiten in den Unternehmen entwickeln, werden immer die Lösungen bevorzugt, die sich für die Unternehmen am kostengünstigsten erweisen. Die Dispositionspolitik des kostenbasierten Verteilmechanismus muss hierbei um die Prioritätsregel Minimum Cost First (MCF) ergänzt werden. Bei der Disposition nach diesem Verteilmechanismus kann es jedoch vorkommen, dass ungleiche Ressourcenbehandlungen oder verschiedenartige Auftragsabwicklungen auftreten. Es kann beispielsweise passieren, dass wichtige Aufträge in den Hintergrund geraten oder bereits ausgelastete Ressourcen zusätzlich belastet werden. Eine Lösung für diese Konflikte ist die Variantenbildung von kostenbasierten Verteilmechanismen, welche Termine und Dringlichkeiten oder Kapazitätsrestriktionen zusätzlich berücksichtigen.³⁶⁰

Bestandsbasierter Verteilmechanismus

Ein bestandsorientierter Verteilmechanismus dient dazu, die Materialbestände in den Unternehmen möglichst gering zu halten beziehungsweise durch Pufferbestände den Produktionsfluss nicht zu gefährden. In der Regel und in der Praxis werden die beiden Sachverhalte kombiniert, indem Pufferbestände aufgebaut werden, die gering sind und eher in Richtung null tendieren. Damit die Pufferbestände auf einem niedrigen Niveau bleiben, kann für die Priorisierung von Produktionsaufträgen zum Beispiel die Earliest Deadline First-Regel (EDF-Regel)³⁶¹ in die Liste der Prioritätsregeln aufgenommen werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Puffer- und Zwischenbestände schnell aufgebraucht werden und in Form von Produktverkäufen das Unternehmen wieder verlassen.³⁶²

Durchlaufzeitbasierter Verteilmechanismus

Bei der durchlaufzeitbasierten Verteilung der Aufträge und Ressourcen steht das Ziel der Minimierung der Durchlaufzeiten im Vordergrund. *Lambrecht et al.* beschreiben in ihrer Arbeit eine Produktionsumgebung, die in Form eines so-

³⁶⁰ Vgl. Sarhan/Qudah 2007, S. 134-138; Peha/Tobagi 1996, S. 192-196 und Yu et al. 2005, S. 140-141. Vgl. hierzu auch Kumar/Rajotia 2006 und Faaland/Schmitt 1993.

³⁶¹ Vgl. hierzu zum Beispiel Doytchinov et al. 2001 oder Xiong et al. 2008.

³⁶² Vgl. Pan et al. 1998, S. 125 und Briskorn et al. 2006, S. 617-618.

genannten Warteschlangennetzes³⁶³ modelliert ist. Das Modell und der darin vorgeschlagene Ablauf adressieren Dispositionsprobleme, von denen eine Minimierung der Durchlaufzeiten erwartet wird. Der Ablauf oder das Verfahren in diesem Modell ist hierarchisch strukturiert und in Abbildung 44 dargestellt.

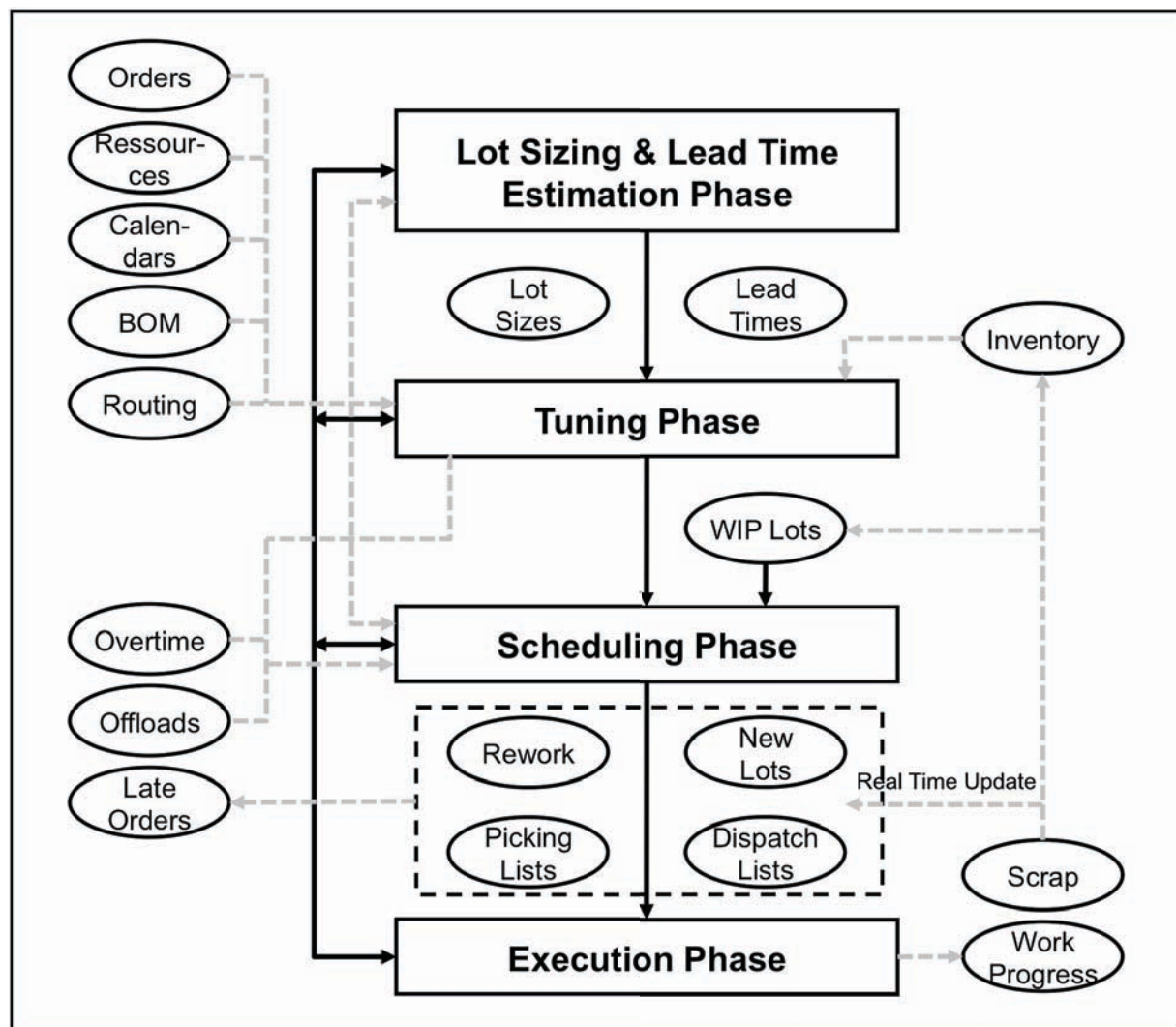


Abbildung 44: Vier-Phasen Modell für die durchlaufzeitbasierte Disposition (Quelle: Lambrecht et al. 1998, S. 1549)

Der Ablauf ist in vier Phasen unterteilt. In Phase 1 erfolgt die Losgrößenbildung und die Bewertung der Durchlaufzeiten für die zu produzierenden Produkte. Dabei wird das Produktions- und Fertigungssystem in ein Warteschlangennetz beziehungsweise in ein Queuing Network umgewandelt. Das Ergeb-

³⁶³ Im englischsprachigen Raum besser bekannt als Queuing Network. Vgl. hierzu Wein 1992a; Wang et al. 2010 oder Bisnik/Abouzeid 2009.

nis dieses Prozesses ist die Gruppierung und Einteilung der Produktionsaufträge entsprechend ihrer Losgrößen und Durchlaufzeiten, die in Form einer Warteschlange nach Prioritätsregeln in den Produktionsprozess gesteuert werden. Für die Gruppierung und Einteilung der Produktionsaufträge stehen in der Literatur Algorithmen zur Verfügung.³⁶⁴

In der Tuning Phase werden Eingriffe oder Interventionen in den Dispositionsprozess durch das Management vorgenommen und berücksichtigt. Die übergeordnete Führungsebene entscheidet anhand von Zielrestriktionen darüber, ob zum Beispiel bei inakzeptablen Losgrößen oder Durchlaufzeiten die Kapazitätsstrukturen durch die Entlastung von Ressourcen, die Erweiterung der Kapazitätsgrenzen oder die Verwendung alternativer Arbeitspläne angepasst werden. Die Ausrichtung der Disposition führt im Resultat zu einem neuen Queuing Model, das eine praxisnahe Lösung widerspiegelt.

Der nächste Schritt ist die Dispositions-Phase. Diese beinhaltet die

- Gruppierung der Kundenaufträge in Produktions- und Fertigungsaufträge,
- Festlegung der Freigabetermine für die einzelnen Produktions- und Fertigungsaufträge und
- Planung und Bildung der Reihenfolgen für alle Arbeitsvorgänge.

Im letzten Schritt werden die detailliert ausgearbeiteten Pläne in Echtzeit in den Produktions- und Fertigungsbereich transferiert und ausgeführt. Die Ausführung der Produktions- und Fertigungsaufträge kann aufgrund der Echtzeitfähigkeit des Systems jederzeit geändert oder angepasst werden, wodurch im Sinne einer dynamischen Disposition auf unvorhergesehene und unerwartet eintretende Ereignisse reagiert werden kann.³⁶⁵

³⁶⁴ Vgl. Lambrecht et al. 1998, S. 1549; Wang et al. 2010, S. 722-723 und Bisnik/Abouzeid 2009, S. 82-83.

³⁶⁵ Vgl. Lambrecht et al. 1998, S. 1549-1550.

4.8 Anwendbarkeit, Einführung und Relevanz der Multiagentensteuerung in der Praxis

Die agentenbasierte Modellierung und Simulation ist vom Prinzip her für die Abbildung von Wertschöpfungsstrukturen in vorwärts- und- rückwärtsgeführten logistischen Systemen der produzierenden Industrie geeignet. Für die Ergebnisermittlung in dieser Arbeit wurden die Relevanz, Anwendbarkeit und Einführung von Multiagentensystemen im Bereich der Rückführungslogistik hinterfragt. Dazu wurden neben der theoretischen Ausarbeitung und Aufbereitung des Themas, Dialoge mit Unternehmen und Forschern, die Kompetenzen in der rückführenden Logistik- und Recyclingkette besitzen, durchgeführt.³⁶⁶ Es wurde erhoben, ob Bereitschaft zum Einsatz von MAS in der Praxis vorhanden ist.

4.8.1 Anwendbarkeit und Einführung in der Sekundärrohstofflogistik

Die Anwendung eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems werden zur Veranschaulichung an einem Beispiel gezeigt. Die Zuordnung verdeutlicht die vorab beschriebenen Aspekte zu den jeweiligen Bereichen des Systems. Das Beispiel behandelt die Nutzung von Sekundärwerkstoffen. Die Vorgehensweise kann auf Sekundärrohstoffe übertragen werden.

Ein von *Wannenwetsch* dargestelltes Praxisbeispiel dient als Grundlage. Verknüpft mit den beschriebenen Ansätzen kann die mögliche Ausgestaltung der Sekundärrohstofflogistik anschaulich dargestellt werden. Im Beispiel werden umweltgerechte Maßnahmen bei einem Automobilhersteller thematisiert, bei dem bereits der Aufbau von Stoffkreisläufen und die Verwendung von Sekundärroh- oder -werkstoffen eingerichtet wurde. So werden beispielsweise Ab-

³⁶⁶ Die Ermittlung der unternehmerischen Sichtweise fand mit Vertretern des Umweltausschusses der Industrie- und Handelskammer (IHK) Ostbrandenburg statt. Der Umweltausschuss der IHK Ostbrandenburg umfasst 29 Mitglieder (Vgl. <http://www.ihk-ostbrandenburg.de/html/929-Mitgliederliste>) und berät über wirtschaftsrelevante Umweltthemen, um die Unternehmen frühzeitig über neue Erfordernisse der Umweltpolitik zu informieren, an denen sie ihre unternehmerische Tätigkeit ausrichten können. Vgl. http://www.ihk-ostbrandenburg.de/html/927-Wir_ueber_uns und <http://www.tu-cottbus.de/fakultaet4/de/abfallwirtschaft/lehrstuhl/kontakt.html>.

deckleisten, Ölfilter oder Verkleidungsteile ganz oder teilweise aus wieder gewonnenen Kunststoffen erzeugt.³⁶⁷

Die Prozesse des Automobilherstellers bei der Roh- und Werkstoffverarbeitung sollen in dem MAS für den Bereich der rückführenden Logistik integriert werden, wobei eine Zusammenführung von Redistributoren und Unternehmen der Aufarbeitung und Aufbereitung sowie des Wiedereinsatzes erforderlich sind. Die Zusammenführung verlangt die Zusammenarbeit in netzwerkartigen Strukturen, welche die Voraussetzung für die Errichtung eines MAS sind.³⁶⁸ Die Redistributoren stellen in diesem Beispiel den Unternehmen der Kunststoffaufarbeitung und -aufbereitung die Rückstände für die Erzeugung von Sekundärkunststoffen zur Verfügung. Die Redistributoren können in diesem Fall kommunale Entsorgungsunternehmen oder auch private Entsorgungsdienste sein. Die Kunststoffrecycler übergeben die wieder gewonnenen Materialien an die Unternehmen des Wiedereinsatzes wie beispielsweise Speditionen, Transportunternehmen oder Dienstleister die der angesprochene Automobilhersteller oder auch andere Unternehmen, die Sekundärkunststoffe für den Einsatz in ihren Produktionsprozessen verarbeiten, erhalten.

Die Architektur eines MAS wurde in Abschnitt 4.7.1 erläutert. Es ist erforderlich, Agententypen zu definieren und die Zusammenarbeit sowie den dafür notwendigen Kommunikationsaustausch festzulegen. Für die Auswahl von Agententypen kann auf die Ausführungen in Abschnitt 4.7.1.4 zurückgegriffen werden. In diesem Beispiel werden Vorhersage-, Sammel- und Transportagenten für die Redistribution, Produktions-, Transport- und Lageragenten für die Aufarbeitung und Aufbereitung sowie Nachfrage- und Transportagenten für den Wiedereinsatz gewählt. Die menschlichen Agenten oder Softwareagenten werden zum Beispiel für die Vorhersageberechnung der anfallenden Rückstände oder als physische Agenten zum Beispiel für den Transport der Materialien installiert. Die Kommunikation erfolgt über ein Blackboardsystem. In Abbildung 45 ist eine Skizze für dieses MAS dargestellt.

³⁶⁷ Vgl. hierzu Wannenwetsch 2010, S. 443-445.

³⁶⁸ Die Netzbildung und MAS wurden hierzu in Abschnitt 4.4 und 4.7 diskutiert.

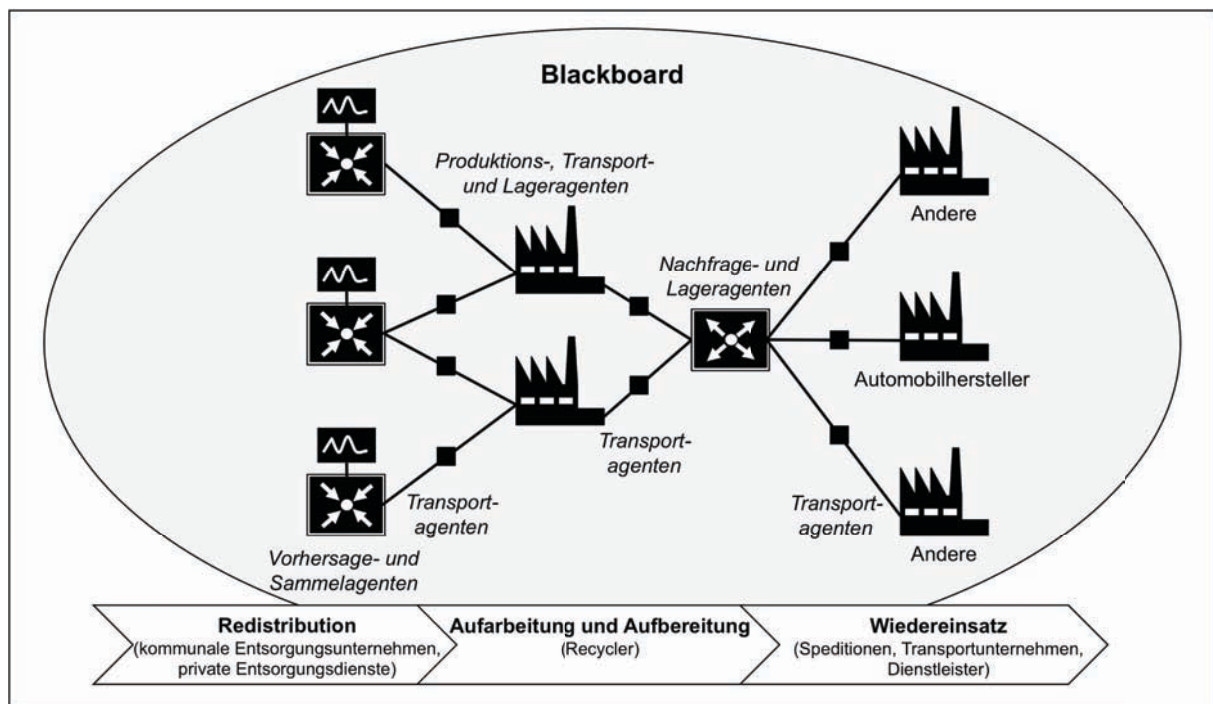


Abbildung 45: MAS für Sekundärkunststoff am Beispiel des Automobilherstellers

Für die Konstruktion des MAS stehen Standard-Architekturen zur Verfügung, nach denen die Infrastruktur des MAS gestaltet wird.³⁶⁹ Die Funktionsweise und Arbeitsabläufe in diesem MAS sehen für dieses Beispiel wie folgt aus. Die Nachfrageagenten nehmen den Bedarf für Sekundärkunststoffe etwa für den Automobilhersteller auf. Die Quantität der benötigten Kunststoffe ist abhängig davon, welche Teile aus Kunststoff in den Fahrzeugen verbaut werden und wie hoch das Produktionslos ist. Der Anteil an Kunststoff am Fahrzeuggewicht beträgt mit steigender Tendenz circa zehn Prozent.³⁷⁰ Bei einem geschätzten Fahrzeuggewicht von 1.500 Kilogramm für ein bestimmtes Fahrzeugmodell des Automobilherstellers und einer angenommenen Jahresproduktion in einem Werk von 12.000 Stück, werden allein in einem Monat 150 Tonnen Kunststoff benötigt. Bei einer durchschnittlichen Verwertungsquote für Rückstände von 70 Prozent³⁷¹ sind ungefähr 215 Tonnen Rückstandsmaterial für die Aufarbeitung und Aufbereitung von Kunststoff sowie für die Produktion dieses Fahrzeugmodells erforderlich.

³⁶⁹ Standard-Architekturen für MAS wurden hierzu in Abschnitt 4.7.1.3 beschrieben.

³⁷⁰ Vgl. Wannenwetsch 2007, S. 443-445.

³⁷¹ Vgl. hierzu Abschnitt 2.4.2.4.

Die erfassten Informationen zu den Bedarfsmengen werden über ein Kommunikations- und Transferprotokoll und unter Verwendung einer gemeinsamen Ontologie an das Blackboard übertragen und angezeigt.³⁷² Die beteiligten Agenten im MAS haben Zugriff auf diese Informationen, die in diesem Zusammenhang zugleich Anfragen an die Agenten darstellen. Jeder verschiedene Agent nimmt diese Informationen in seiner Daten- und Wissensbasis auf und prüft, inwieweit von seiner Seite die Bedarfsmengen für den Automobilhersteller befriedigt werden können. Die Informationen dazu stellen die Agenten ebenfalls an das Blackboard.

Wenn sich beispielsweise bereits 20 Tonnen Sekundärkunststoff bei den Wiedereinsatzagenten und 30 Tonnen im Produktionsprozess der Aufarbeitung und Aufbereitung befinden, sind die Agenten im MAS darüber informiert, dass noch 100 Tonnen für die Befriedigung der Sekundärkunststoffnachfrage des Automobilherstellers fehlen. Das für die Produktion erforderliche Rückstandsmaterial beträgt demzufolge knapp 145 Tonnen. Wenn im Bereich der Redistribution jedoch schon 45 Tonnen Rückstände vorhanden sind, müssen für die ausstehende Bedarfsmenge noch 100 Tonnen gesammelt werden. Das fehlende Rückstandsmaterial, die noch zu produzierende Sekundärkunststoffmenge sowie die gesamten begleitenden Prozesse stellen in diesem Fall das zu lösende Allokationsproblem dar, an dem sich die Agenten des MAS beteiligen und ihren Beitrag dazu leisten.³⁷³

Zunächst werden die im System bereits vorhandenen Mengen Sekundärrohstoff entsprechend den täglichen, stündlichen oder ad-hoc-Bedarfen des Automobilherstellers durch die Lieferkette im Bereich der rückführenden Logistik in dessen Richtung befördert. Gleichzeitig reagieren die Agenten auf den noch fehlenden Bedarf an Sekundärkunststoff. Die Vorhersageagenten berechnen mit Vorhersagetechniken³⁷⁴ die zeitliche Verfügbarkeit der Rückstände und prüfen wo diese lokalisiert werden können. Die Sammelagenten tragen die Rückstände zusammen. Die Aufarbeitungs- und Aufbereitungsagenten planen

³⁷² Vgl. hierzu 4.7.1.5 und 4.7.1.6.

³⁷³ Vgl. hierzu Abschnitt 4.7.1.

³⁷⁴ Vgl. hierzu Abschnitt 3.2.3.2.

den Produktionsprozess und stellen eine Menge entsprechend der Bedarfshöhe an Sekundärkunststoffen her. Die Wiedereinsatzagenten liefern die Materialien wiederum an den Automobilhersteller. Für die Erfüllung dieser Tätigkeiten und die Disposition der Aufträge und Ressourcen wenden die Agenten dynamische Dispositionsmethoden und -techniken, wie sie in Abschnitt 4.7.2 oder genauer in 4.7.2.3 beschrieben worden sind, an.

Über die gesamte Dauer des Prozesses und für die Erledigung der einzelnen Teilaufgaben findet ein permanenter Nachrichtenaustausch am Blackboard statt. Dieser Prozess wurde in den Ausführungen nur vereinfacht dargestellt. Für die vollständige und detaillierte Betrachtung jedes einzelnen Prozesses und Prozessschrittes ist eine umfassende Ausarbeitung erforderlich.

Es ist zu erkennen, dass durch den konstanten Datenaustausch ein transparentes System entsteht, in dem zu jeder Zeit und an jedem Ort der Lieferkette eine umfassende Informationsverfügbarkeit über alle Sachverhalte vorliegt. Die Planungs- und Durchführungsprozesse können dadurch genauer, vorhersehbar und zielgerichtet durchgeführt werden. Der teilweise selbststeuernde und autonome Charakter des Systems reduziert zudem den Steuerungsaufwand für die Unternehmen.³⁷⁵ Die zusätzliche Integration künstlicher Intelligenz ermöglicht die Lösung komplexer Problemstellungen und führt aufgrund der Lernfähigkeit zu einem optimierenden Systemverhalten. Dies sollten die wesentlichen Vorteile und Anstoßpunkte für die Arbeit in einem MAS für die Unternehmen sein.

4.8.2 Sichtweisen von ausgewählten Unternehmen

Die Bereitschaft zum Einsatz dieser Systeme zur Relevanz und der Anwendbarkeit wurde im unternehmerischen Umfeld positiv betrachtet und mitgeteilt. Abbildung 46 zeigt den Zusammenhang zwischen Einsatzfähigkeit und Einsatzbereitschaft.

³⁷⁵ Vgl. hierzu Abschnitt 2.3.2.

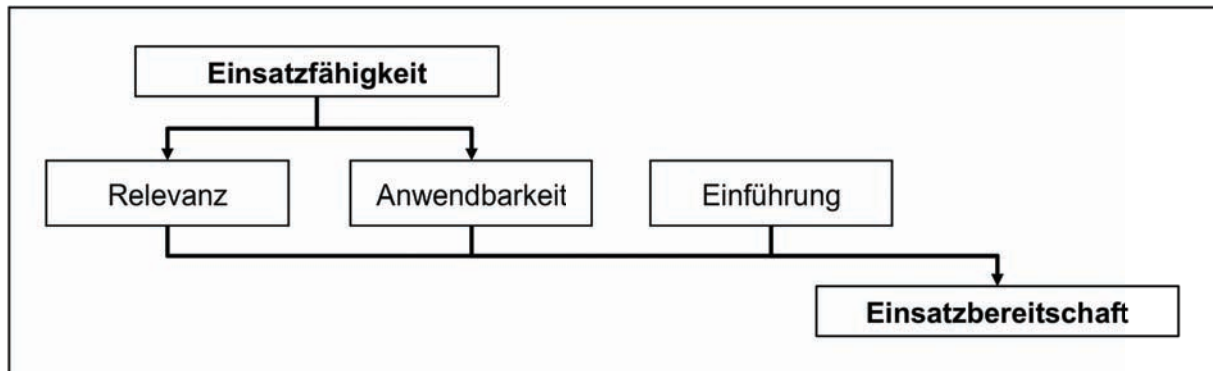


Abbildung 46: Ansatz zur Einsatzbereitschaft

In verschiedenen Gesprächen wurde eine Klassifikation der beteiligten Unternehmen in der logistischen Rückführungskette vorgenommen. Dabei wurden die Gruppen *Abfallerzeuger*, *Abfallerfasser*, *Abfallverwerter* und *Abfallberater* identifiziert.

Die *Abfallerzeuger* sind, neben den Unternehmen selbst, in erster Linie die Konsumenten beziehungsweise die Verbraucher, die überwiegend von Privatpersonen repräsentiert werden. Da, wie bereits in Abschnitt 2.4.2.7 erwähnt wird, das Konsumverhalten dieser Personengruppe nur schwer vorherzusagen ist, wird die Erfassung der Altprodukte und Reststoffe zum entscheidenden Faktor in der Rückführungskette. Verbraucher tragen maßgeblich zur Bildung von Altprodukten und Reststoffen bei. Die *Abfallerfasser* repräsentieren die beteiligten Akteure im Bereich der Redistribution respektive der Sammlung von Altprodukten und Reststoffen. Die *Abfallverwerter* sind die Recyclingunternehmen, welche die Wiederaufarbeitung und -aufbereitung der erfassten Stoffe vornehmen. In Ergänzung werden von den unternehmerischen Vertretern die *Abfallberater*³⁷⁶ erwähnt. Die Abfallberater bieten mit ihren Leistungen eine Hilfestellung in der Geschäftstätigkeit für die Unternehmen im Bereich der Rückführungslogistik an. Da sie aber kein zwingender Bestandteil der Rückführungskette sind, sondern nur ein ergänzendes oder von außen wirkendes Element darstellen, bleiben sie in der Multiagentensteuerung unberücksichtigt. Ebenso die Vertreter, die den Wiedereinsatz der Sekundärrohstoffe organisie-

³⁷⁶ Gemeint sind hier im klassischen Sinne Unternehmensberatungen und Consultingfirmen.

ren, da MAS in der unternehmerischen Praxis nur im wertschöpfungsnahen Bereich sinnvoll sind.

Es wurde erwähnt, dass die wesentlichen Probleme im Bereich der Rückführung von Materialien für die Herstellung von Sekundärrohstoffen liegen. Es sind:

- Internationalisierung/Globalisierung,
- Staatlich gelenkte/dirigierte Länder,
- Kurzfristigkeit/Dynamik,
- Destabilisierende Faktoren und Umwelteinflüsse,
- Exportabhängigkeit/Marktschwankungen.

Die genannten Punkte beziehen sich zum Beispiel auf die Einfuhr- und Preispolitik international agierender Staaten, wie beispielsweise China als einer der größten Entsorgungs- und Abfallverwertungsspezialisten. Es geht im Besonderen um instabile oder volatile Faktoren. Ein Beispiel sind die vereinbarten und tatsächlich erhaltenen Lieferungen aus resultierenden Verträgen oder die variierenden Container- oder Zollpreise, welche national und international verhandelt werden. So kann es nach Interview-Aussagen dazu kommen, dass festgelegte Margen für die Entsorgung und Abfallverwertung nicht eingehalten werden und dadurch die Kontinuität im Bereich der Rückführungslogistik beeinflusst sowie die Prozesse der Aufarbeitung und Aufbereitung beeinträchtigt werden.

Eine weitere Einflussgröße, die von der Praxis bestätigt und in der vorliegenden Arbeit erwähnt wurde sind Qualitätsschwankungen bei den rückgeführten Altprodukten und Reststoffen. Qualitätsschwankungen hängen unter anderem auch mit nicht eingehaltenen Abnahme- und Entsorgungskennzahlen für die Abfallverwertung zusammen. Widersetzen sich beispielsweise Unternehmen oder Länder die gesetzten Kennzahlen einzuhalten, partizipieren andere Entsorger und Abfallverwerter in negativer Form, da sie Lieferungen erhalten, die den Qualitätsanforderungen und Mengen nicht entsprechen. Die Abfallverwerter müssen dann in dieser Konstellation mit dem variierenden Eingangsmaterial, dieselben vereinbarten Ausgangsqualitäten produzieren.

Des Weiteren spielen politische Faktoren bei der Aufarbeitung und Aufbereitung eine große Rolle. Die Meinung der Wirtschaft ist, dass auf die Bedürfnisse der Unternehmen nur unzureichend eingegangen wird. Aus Unternehmenssicht werden feste und stabile politische Vorgaben verlangt, die sowohl zweckmäßig für die Produktionswirtschaft als auch für die Krisenstabilität der Unternehmen sind. Vordergründig geht es bei diesem Anliegen um das Verhindern der Volatilität in Rückführungsprozessen und das Verständnis der Politik für diesen Industriezweig, um die langfristigen Planungen der Unternehmen nicht zu beeinträchtigen beziehungsweise begünstigend zu gestalten. Weiterhin wurde die Ablehnung des Exportes von Rückständen in das Ausland benannt und angesprochen, dass eine nationale Ressourcensicherung aufgrund der erhöhten Nachfrage gefährdet ist und nicht bedient werden kann.

In einem weiteren Punkt wurde die Integration beziehungsweise Integrationsfähigkeit von MAS zwischen den Unternehmen im Bereich der rückführenden Logistik thematisiert. In zusammenfassender Form kann folgendes konstatiert werden:

- Netzwerke und Kommunikationssysteme als Teile eines MAS entstehen auch von alleine,
- wirtschaftlich sichere und eingesessene Betriebe sind motivierter zur Teilnahme und Integration von MAS,
- Regionalität spielt eine wichtigere Rolle als Internationalität,
- die Voraussetzungen und Umfeldbedingungen für den Einsatz, Administration und die Praktikabilität der MAS müssen sowohl aus unternehmerischer Sicht wie von der rechtlichen Sachlage her stimmen,
- MAS müssen bildungsunabhängig und bedienbar sein, da sonst hochspezialisierte Experten für die Nutzung erforderlich sind,
- der funktionsübergreifende Einsatz von MAS zwischen den verschiedenen Unternehmensbereichen ist die Ausgangsbasis für das Funktionalisieren der Lieferketten.

Das Hauptinteresse der Industriepartner lag auf der Steigerung der Rentabilität der behandelten Stück- und Kilozahlen von Recyclingmaterialien und der Frage der Arbeitsproduktivität beim Einsatz von MAS.

Die gewünschte Einführung und der Einsatz von MAS müssen einer eindeutigen Zertifizierung³⁸⁰ unterliegen, um die Funktionalität der Systeme abzusichern und eine hohe Leistung im Qualitäts- und Produktmanagement zu gewährleisten.³⁸¹ Eine Zertifizierung betrifft in besonderem Maße die Qualitätsmerkmale und Abfalleigenschaften der Altprodukte und Reststoffe, die in das System eingesteuert werden sowie die aufwendige und dadurch zum Teil mangelnde Sortierung der Rückstände und Sortierleistung bei den Abfallerzeugern und -betrieben. Die Qualität und die Zusammensetzung undefinierter und unzertifizierter rückgeführter Materialien beeinträchtigen die Verwertbarkeit der Altprodukte und Reststoffe in den Recyclingunternehmen, so dass weitere Sortierungsmaßnahmen erforderlich sind. Wegen der mangelnden Qualität der Rückstände verweisen die Recyclingunternehmen auf ihre internen, erhöhten Abfallmengen. Das nachteilige Input-Output-Verhältnis wirkt sich negativ auf die Konkurrenz- und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen aus. Eine Forderung ist folglich, Hilfe von Zertifizierungsverfahren die Abfalleigenschaften in Qualitätsmerkmalen zu verbessern und somit die Verwertbarkeit und das gesamte Recyclingsystem zu optimieren.

Der Einführung von MAS steht die gängige Praxis in der rückführenden Papier-, Glas- und Metallindustrie entgegen. Die Arbeit setzt sich mit unetablierten Rohstoffproblematiken auseinander. In der wissenschaftlichen Literatur und der industriellen Praxis sind wenige oder keine Ausgestaltungsformen von MAS für diese Unternehmen bekannt.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Einführung von MAS für ein funktionierendes Rückführungssystem mit den in Abschnitt 4.7.1.4 genannten Agententypen von Vorteil sein kann. Die Randbedingungen sind:

- vorhandene Kooperationsbereitschaft zwischen den beteiligten Unternehmen,
- Anpassbarkeit von Produktion, Logistik und Management,

³⁸⁰ Vgl. zum Prozess sowie Mittel und Zweck der Zertifizierung Syska 2006, S. 177-180 und Ensthaler et al. 2007, S. 3-26.

³⁸¹ Vgl. hierzu zum Beispiel Jackson/Ashton 1996 und Hering et al. 1997.

- ein verändertes Ausbildungssystem innerhalb der Recyclingwirtschaft für die Bedienbarkeit der Systeme,
- genaue und langfristige Lieferketten,
- definierte und zertifizierte Abfalleigenschaften sowie
- stabilisierende politische, rechtliche und unternehmerische Strukturen.

Solange diese nicht gewährleistet sind, ist die Einführung von MAS fraglich.

4.9 Recyclingmodelle für die Sekundärrohstoffindustrie

In den vorangegangenen Kapiteln wurde festgestellt, dass der Einsatz von MAS vorrangig in den Teillogistikbereichen Sammlung sowie Aufarbeitung und Aufbereitung für sinnvoll und notwendig erachtet wird. Diese werden von den Vertretern der Abfallerfasser und Abfallverwerter repräsentiert. Da ein wesentliches Element in der Sekundärrohstofflogistik die Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Altprodukten und Reststoffen ist, soll die Ausgestaltung und physische Festlegung von MAS-Infrastrukturen zwischen den Abfallerfassern und Abfallverwertern anhand von Recyclingmodellen erklärt und für eine praktische Umsetzung angepasst werden.

Die Abfallerfasser und Abfallverwerter bilden die engste Einheit in der Sekundärrohstofflogistikette, weil zwischen diesen Parteien die größten Abhängigkeiten hinsichtlich der Abnahme und des Bedarfs von Altprodukten und Rohstoffen besteht. In der Literatur und Praxis sind verschiedene Recyclingmodelle und die damit verbundenen Geschäftsprozessen und -abläufen zu finden. Im Folgenden werden fünf Recyclingmodelle beispielhaft dargestellt, mit denen allgemeingültige MAS-Infrastrukturen individualisiert und für den Praxiseinsatz tauglich gemacht werden können.³⁸²

³⁸² Die Recyclingmodelle wurden in einer Studie von A. T. Kearney zum metallischen Rohstoffrecycling identifiziert und werden auf den Bereich der Sekundärrohstofflogistik adaptiert. Vgl. Malkwitz et al. 2009, S. 1-4. Vgl. zu Recyclingmodellen auch Sodhi/Reimer 2001, S. 97-115.

Die Recyclingmodelle orientieren sich an einer Methodik, die auf einer Typologie basiert, welche die Einsatzmöglichkeiten und den daraus resultierenden Nutzen strukturiert analysieren und daraus Handlungsempfehlungen für wirtschaftlichen Erfolg und für die Gestaltung von MAS ableitet.³⁸³ Die Positionierung der fünf Recyclingmodelle in der Wertschöpfungskette des Recyclings sind in Abbildung 47 dargestellt und werden im Folgenden vorgestellt.

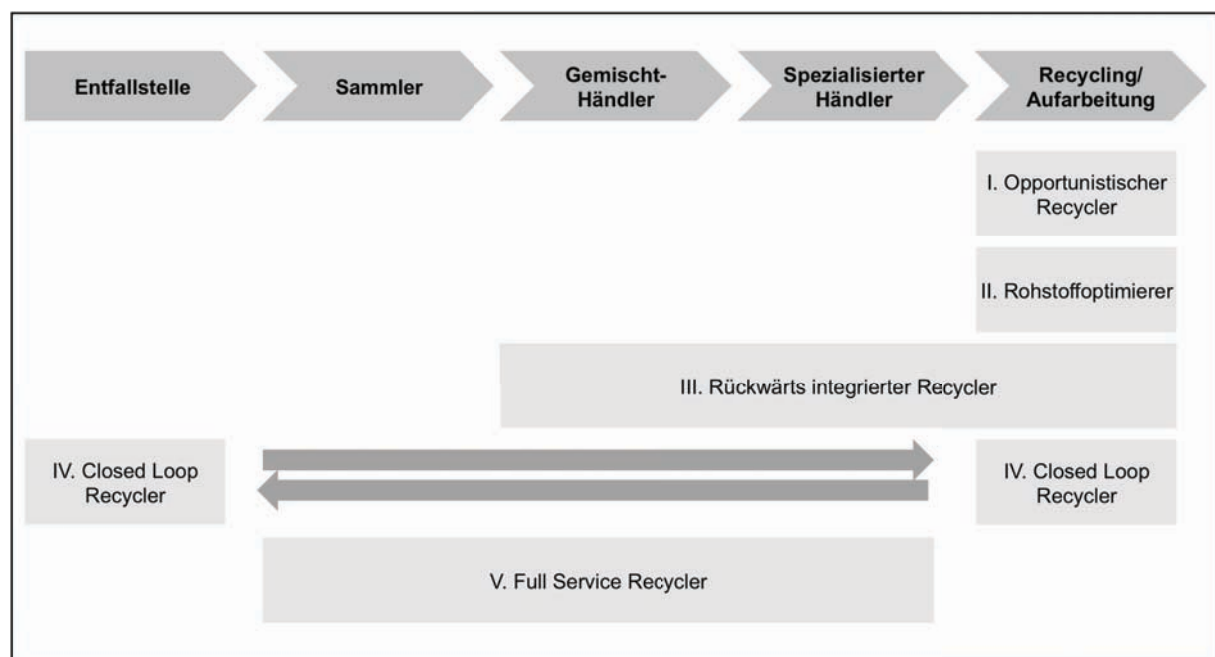


Abbildung 47: Fünf Modelle in der Recyclingwertschöpfungskette (Quelle: Malkwitz et al. 2009, S. 2)

Ein erstes Modell für das Recycling ist der *opportunistische Recycler*. Der opportunistische Recycler ist unabhängig von Altprodukten und Reststoffen, da er über den Zugang zu Primärquellen³⁸⁴ verfügt. Er benutzt Altprodukte und Reststoffe nur dann, wenn sie sich wirtschaftlich verwerten lassen. Ist das nicht der Fall, kauft der opportunistische Recycler Altprodukte und Reststoffe für seine Produktion nur zu. Er bietet keine Serviceleistungen in der Aufarbeitung und Aufbereitung an. Von Vorteil bei diesem Modell ist, dass der Recycler bei der Auswahl seiner Einsatzstoffe flexibel ist und bei niedrigen Einstandspreisen im Primärbereich von wirtschaftlichen Vorteilen profitiert.

³⁸³ Vgl. Malkwitz et al. 2009, S. 2.

³⁸⁴ Primärquellen sind beispielsweise Eisenbahnschienen, die ohne aufwendige Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse wieder zu Rohstoffen verarbeitet werden können.

Nachteilig wirkt sich bei diesem Modell die geringe Vernetzung der Unternehmen im Recyclingmarkt aus. Dadurch können sie in die Gefahr geraten, gleichzeitig mit hohen Preisen für die Primärstoffe sowie den Altprodukten und Reststoffen konfrontiert zu werden.

Das Geschäftsmodell des *Rohstoffoptimierers* basiert auf der Erkenntnis, dass Altprodukte und Reststoffe häufig die günstigeren Einsatzmaterialien am Markt sind. Der Einkauf von Altprodukten und Reststoffen wird akribisch durch die Einkaufsabteilung des Unternehmens forciert. Der Rohstoffoptimierer hat sich auf den Einkauf von Altprodukten und Reststoffen festgelegt und bietet keine Serviceleistungen zur Aufarbeitung und Aufbereitung an. Der Vorteil für diese Unternehmen ist, dass sie aufgrund des Einsatzmixes von Altprodukten und Reststoffen über einen technologischen Vorsprung bei der Aufarbeitung und Aufbereitung verfügen und dadurch wirtschaftliche Vorteile erzielen können. Der Nachteil ist der beschränkte Zugang zu Primärstoffen, da die unsichere Verfügbarkeit und Beschaffenheit der Altprodukte und Reststoffe die Gefahr beinhaltet, zeitweise von teuren Ersatzprodukten abhängig zu sein.

Ein weiteres Modell beschreibt den *rückwärts integrierten Recycler*. Die Unternehmen dieses Typus verwenden hauptsächlich Altprodukte und Reststoffe in ihrer Produktion. Überschüssige Materialien werden verkauft. Im Gegensatz zum Rohstoffoptimierer bieten diese Unternehmen außerdem ein Servicemodell für Entsorgungsleistungen an. Die variable und vielfältige Altprodukt- und Reststoffversorgung bietet den Recyclern eine hohe Flexibilität im Produktionsprozess. Das zusätzliche Servicemodell liefert zudem weitere Erträge. Da aber dieser Service häufig nicht zu den Kernkompetenzen zählt, kann sich das auch als Nachteil in den unternehmerischen Aktivitäten auswirken. Weiterhin entsteht ein interner Wettbewerb zwischen Produktion und Service um die Altprodukte und Reststoffe.

Der *Closed Loop Recycler* steht in enger Kooperation mit seinen Kunden, welche ihm Altprodukte und Reststoffe bereitstellen. Die Altprodukte und Reststoffe arbeitet und bereitet er wieder auf und stellt die gewonnenen Materialien seinen Kunden wieder zur Verfügung und bringt sie dadurch gezielt in den

Wirtschaftskreislauf wieder ein. Die Kosten und Preise für die Aufarbeitung und Aufbereitung der Altprodukte und Reststoffe orientieren sich an deren qualitativen Zustand und werden mit den Kunden vereinbart. Der Vorteil bei diesem Modell ist, dass die Kunden von den schwankenden Rohstoffpreisen am Markt weitgehend unabhängig sind, weil es sich bei den aufgearbeiteten und aufbereiteten Materialien gewissermaßen um „ihre“ Sekundärrohstoffe handelt. Der Kern in diesem Geschäftsmodell liegt in der angebotenen Serviceleistung Aufarbeitung und Aufbereitung. Der Nachteil ist jedoch die bereits genannte Preisschere für Primär- und Sekundärrohstoffe. Erst wenn der Wert für aufgearbeitete und aufbereitete Materialien geringer ist als für Primärrohstoffe, ist dieses Modell wirtschaftlich betreibbar. Weiterhin kommt hinzu, dass eine ausreichende Kundenakquisition für dieses Modell schwierig sein könnte.

Das fünfte Modell ist der *Full Service Recycler*. Diese Unternehmen fokussieren sich auf den Handel mit Altprodukten und Reststoffen und auf deren Recycling. Der Vorrang liegt aber auf der Versorgung von Unternehmen mit Altprodukten und Reststoffen. Full Service Recycler bieten meistens Serviceleistungen an und produzieren nicht selbst. Die Service-Strategie zielt auf eine starke Vernetzung mit der Rückführungslogistikbranche. Bei niedrigen Rohstoffpreisen sind die Margen gering. Dadurch wird das Modell wirtschaftlich unrentabel.

Die individuelle Positionierung der Unternehmen in einem dieser Recyclingmodelle ist von ihrer Stellung in der Wertschöpfungskette und im Markt abhängig. Die jeweils gewählte Recyclingstrategie der Unternehmen basiert auf verschiedenen relevanten Einflussgrößen wie der Verfügbarkeit von Rohstoffressourcen, der Wettbewerbssituation oder den internen Fertigungskosten und muss dahingehend geprüft, analysiert und bestimmt werden. So ist zum Beispiel für einen opportunistischen Recycler ein rudimentärer Recyclingmarkt mit vielen Anfallstellen aber geringen Volumina ein passendes Umfeld, da in diesem Fall der Zugang zu Primärstoffen offensichtlich eher gegeben ist. Weiterhin ist davon auszugehen, dass der Herstellungsprozess bei diesen Unternehmen mit Primärstoffen kostengünstiger abläuft.

Nach der Abwägung der verschiedenen Einflussgrößen kann einem Unternehmen ein passendes Recyclingmodell zugeordnet werden. Weitergehende Faktoren können alternative strategische und operative Optionen für die Geschäftsmodelle beinhalten. So wie zum Beispiel bei der Sicherung des Materialzugangs, bei dem die Option eines Langzeitkontrakts mit einem Altprodukt- und Reststofflieferer besteht oder der direkte Zugang zu Anfallstellen möglich ist. Beide Optionen können strategische Vorteile beinhalten. Anders sieht es für den opportunistischen Recycler aus, diesem würde eine solche Langzeitvereinbarung aufgrund von Mindestabnahmemengen im Normalfall nicht nützlich sein und seinem Geschäftsmodell widersprechen. Für ihn wäre eine direkte Ansprache der Anfallstellen, die wenig und preiswerte Altprodukte und Reststoffe anbieten, geeigneter.

Die einzelnen Modelle werden im Einzelfall um spezifische Fragestellungen erweitert und können mit einem Gerüst verschiedener Optionen ergänzt werden. Der Gestaltungsraum der jeweiligen Recyclingstrategie und der -modelle wird mit den beteiligten Unternehmen entwickelt und auf Funktionsfähigkeit bewertet. Die dargestellten Formen bieten den Unternehmen strategische Ansätze, sich in dem unsicheren Rohstoff- und Recyclingmarkt zu positionieren. Eine generelle Aussage für welches Konstrukt sich die Unternehmen entscheiden und den größten Nutzen oder Erfolg für sie versprechen, wird nicht getroffen.³⁸⁵

4.10 Selektive MAS-Steuerung

Die Begrenzung der kognitiven und systembedingten Planungsfähigkeiten von Mensch und Maschine gibt Anlass, für die Identifikation einer optimalen Gesamtstrategie kleinere Teilsysteme zu definieren. Durch eine Selektion von Teilsystemen kann die Erfassung und Interpretation sowie die Komplexität und Unsicherheit von Ereignissen auf ein geringeres Maß reduziert werden.³⁸⁶

³⁸⁵ Vgl. Malkwitz et al. 2009, S. 2-4.

³⁸⁶ Vgl. Lattwein 2002, S. 155-156.

Nach der Ableitung der genannten Recyclingmodelle und in Verbindung mit den unternehmerischen Sichtweisen wird die Bildung selektiver MAS-Steuerungen in der Rückführungslogistikkette vorgeschlagen. Hintergrund ist die Begrenzung und Verringerung der Komplexität von umfangreichen Konzepten und Plänen für die Einführung, Umsetzung und Bedienung von ganzheitlichen MAS in der Praxis. Die MAS-Steuerung soll selektiv auf einzelne Teilbereiche oder Beziehungskonstellationen in einfacher und handhabbarer Form ausgerichtet und eingesetzt werden.

Es wird eine Kategorisierung in spezifische Maßnahmen-Kataloge, kurz genannt Katalogisierung, für die selektive MAS-Steuerung vorgenommen, welche das komplexe MAS aufspaltet und in kleinere Einheiten zerlegt. dadurch soll eine effektive Rückführung sowie effizientes Recycling ermöglicht werden. Abbildung 48 zeigt die Zuordnung der einzelnen Kataloge.

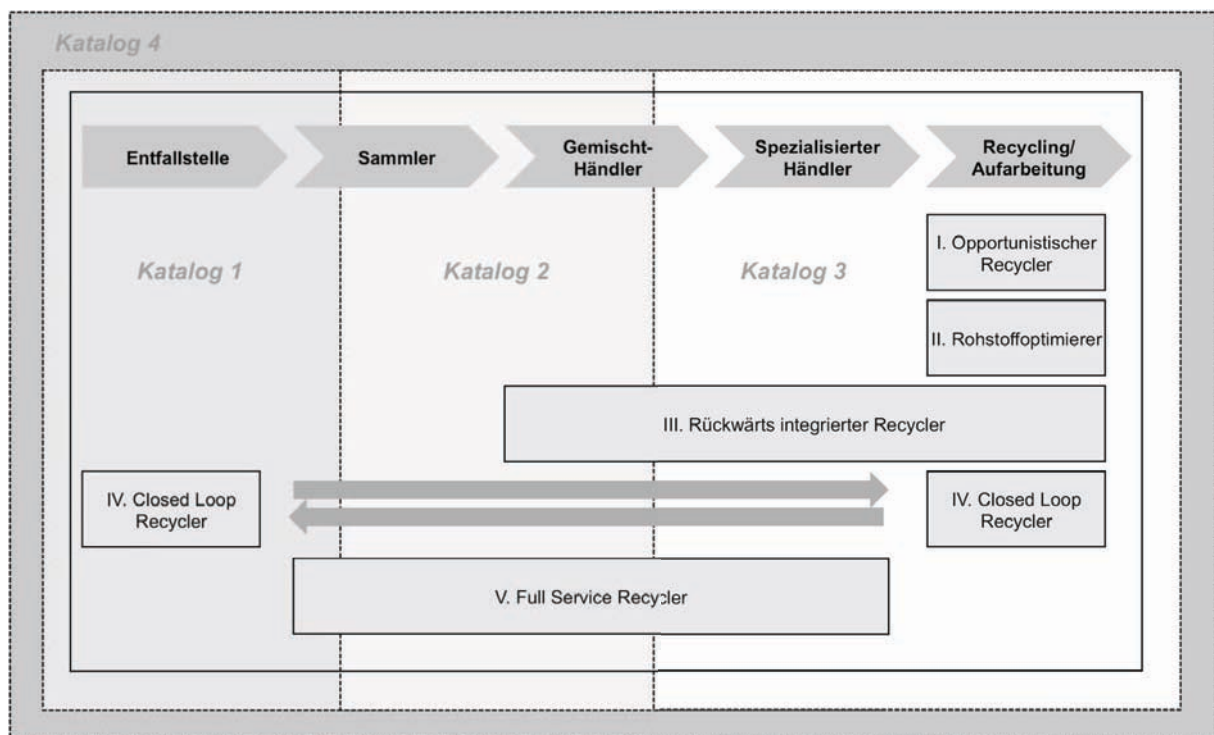


Abbildung 48: Ansatz zur Katalogisierung für die selektive MAS-Steuerung (Quelle: Angepasste Darstellung in Anlehnung an Malkwitz et al. 2009, S. 2)

Katalog 1: Entfallung und Sammlung

Abfallerzeuger > Abfallerfasser

Der erste Katalog umfasst die Entfallung und die Sammlung von Rückständen und beteiligt die Partner der Redistributionskette von Rückständen, die Konsumenten, Produzenten oder Endverbraucher und die Unternehmen, welche die entfallenen Altprodukte und Reststoffe sammeln und in den Wertstoffkreislauf zurückführen. Der Katalog beinhaltet die Closed Loop und Full Service Recycler. Diese beiden Gruppen sind in allen Katalogen beteiligt, da ihre Aufgaben und Tätigkeiten die gesamte Rückführungskette umspannen. Die Zuordnung zeigt Abbildung 49.

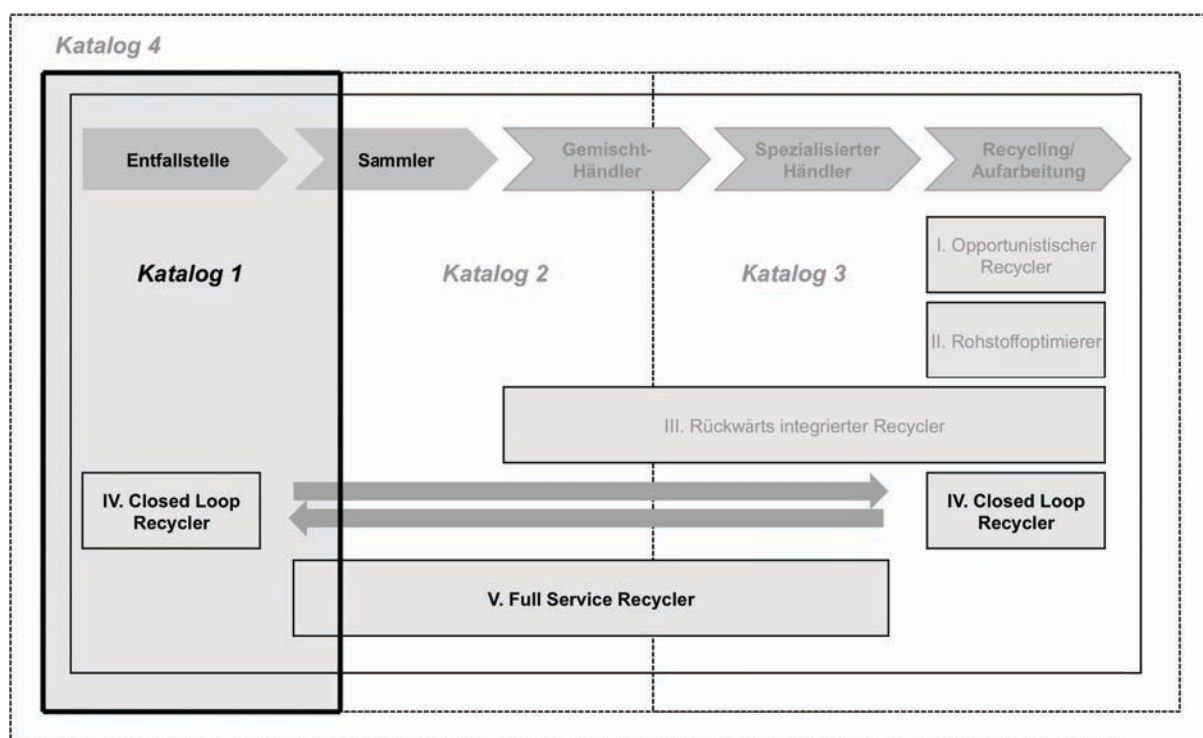


Abbildung 49: Selektiver MAS-Katalog 1: Entfallung und Sammlung

Für die Bildung selektiver MAS ist die Auswahl von Agententypen und -arten ausschlaggebend, die für die durchzuführenden Abläufe und Strukturen notwendig sind. In Katalog 1 sind die Agenten in Tabelle 10 aus dem Bereich Redistributionslogistik für den Aufbau des selektiven MAS von Bedeutung. Zum Beispiel sind die Manager-, Informations- oder Vorhersageagenten zu wählen, die im Besonderen für die Erfassung der Rückstände notwendig sind und mit

denammel- und Transportagenten, welche die Beförderung der Rückstände durchführen, informationstechnisch und ausführend zu verknüpfen sind, so dass ein aktives System entstehen kann. In Abbildung 50 ist der begrenzte Ausdehnungs- und Wirkungskreis des selektiven MAS in der gekennzeichneten Fläche dargestellt.

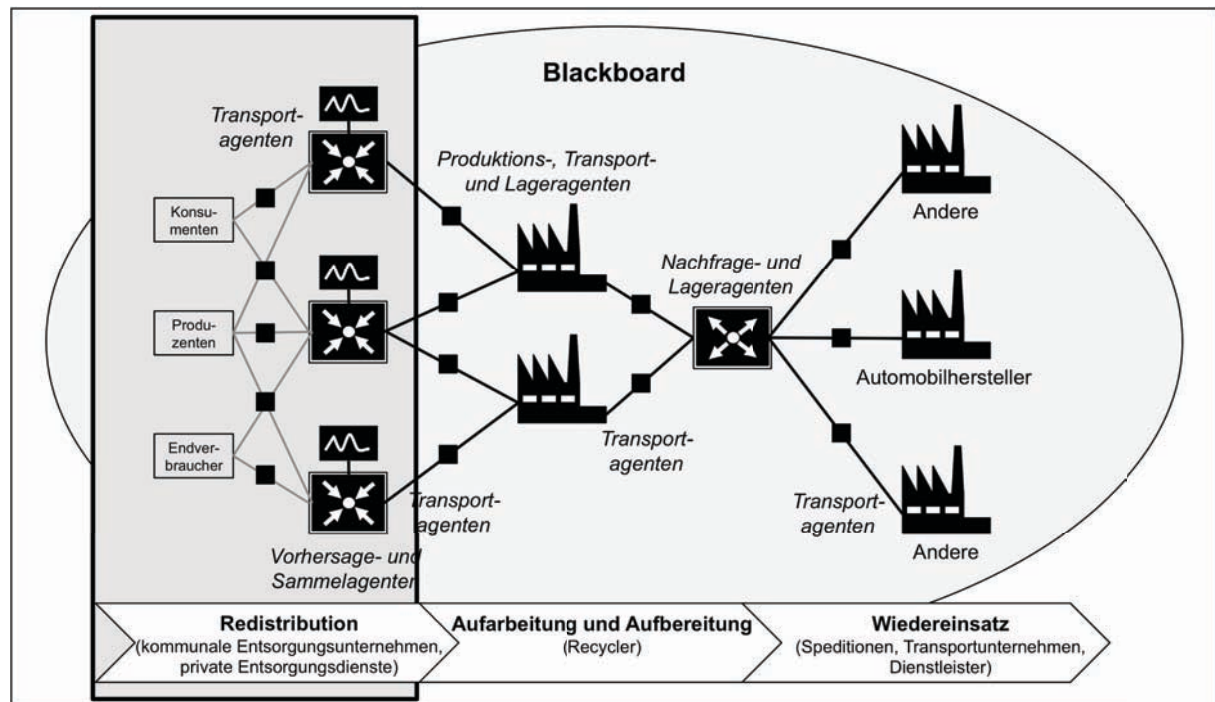


Abbildung 50: Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung Entfallung und Sammlung

Katalog 2: Einkauf und Verteilung

Abfallerzeuger > Abfallerfasser > Abfallhändler

Im zweiten Katalog wird die Abfallerzeugung und -erfassung um den Abfallhandel erweitert. Das impliziert, dass weitere Transportagenten in das selektive MAS integriert werden, die den Handel zu den Aufarbeitungs- und Aufbereitungsunternehmen auf- und vornehmen. Des Weiteren werden Rückstands- und Lageragenten in das System integriert, welche die gesammelten Rückstände beschaffen, sortieren, handhaben, zur zeitlichen Überbrückung bis zur Nachfrage lagern und für den Transport zu den Recyclern bereitstellen. In den genannten Katalogen 1 und 2 ist es zudem sinnvoll, Monitoringagenten einzusetzen, die das Redistributionssystem anhand von Datenerfassungen und

-auswertungen kontrollieren und bewerten und die Leistungsmaße der Agenten berechnen und für die Prozessorientierung verbessern.

Die partielle Rückführungskette und der Ausdehnungs- und Wirkungskreis des selektiven MAS in Katalog 2 ist in Abbildung 51 und 52 veranschaulicht.

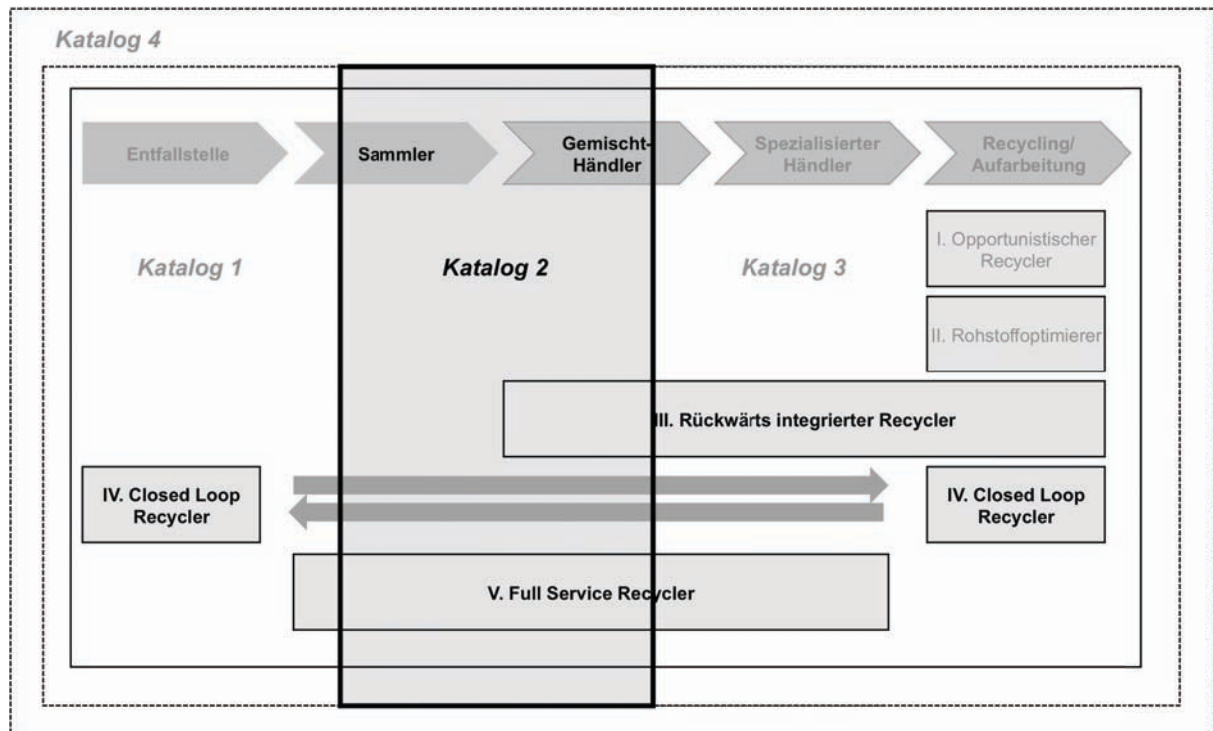


Abbildung 51: Selektiver MAS-Katalog 2: Einkauf und Verteilung

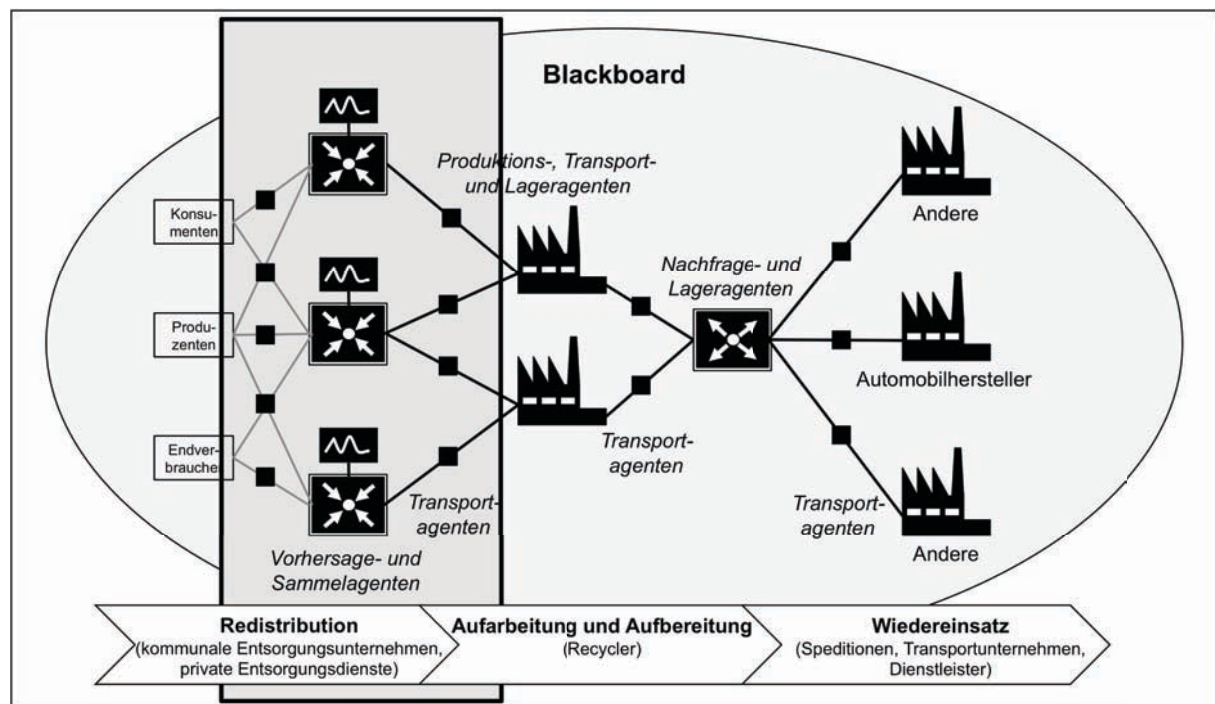


Abbildung 52: Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung Einkauf und Verteilung

Katalog 3: Recycling und Verwertung

Abfallhändler > Abfallverwerter (Recycler)

Die Abläufe und Prozesse sowie die Akteure des Recyclings und der Verwertung der Altprodukte und Reststoffe werden in Katalog 3 aufgenommen. Für das selektive MAS erfolgt eine Erweiterung des Agentenpools für die Demontage, Separierung, Schadstoffentfrachtung, Testen und Prüfen sowie Produktions- oder Maschinenverwaltung. Gleichzeitig ergibt sich durch die Selektion eine Reduzierung der Manager-, Informations-, Vorhersage- oder Sammelagenten aus dem Bereich der Redistribution.

Der Katalog schließt an die im Abschnitt 4.9 genannten fünf Recyclingmodelle an und beinhaltet die Aufarbeitung und Aufbereitung der Altprodukte und Reststoffe. Abbildung 53 zeigt die Determination für die dritte Katalogisierung der selektiven MAS-Steuerung.

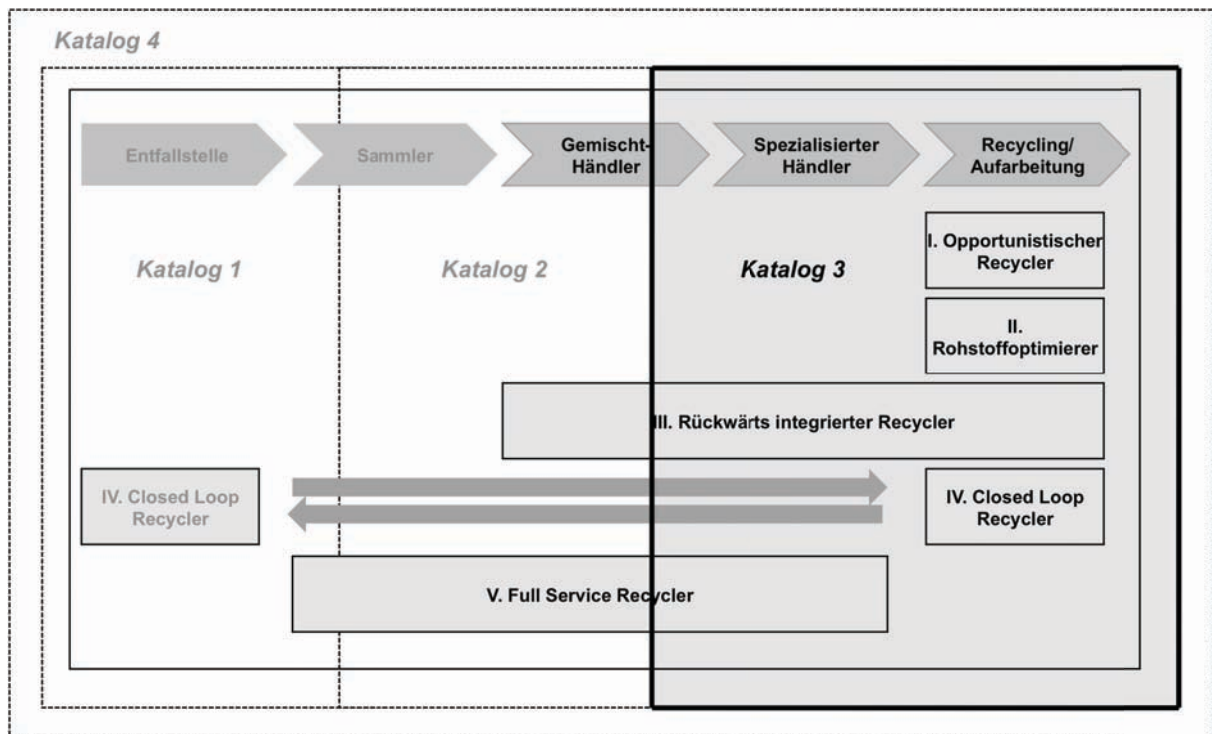


Abbildung 53: Selektiver MAS-Katalog 3: Recycling und Verwertung

Die Abbildung 54 veranschaulicht den Bereich der beteiligten Agenten für das Recycling und die Verwertung in der Partition der rückführungslogistischen Kette.

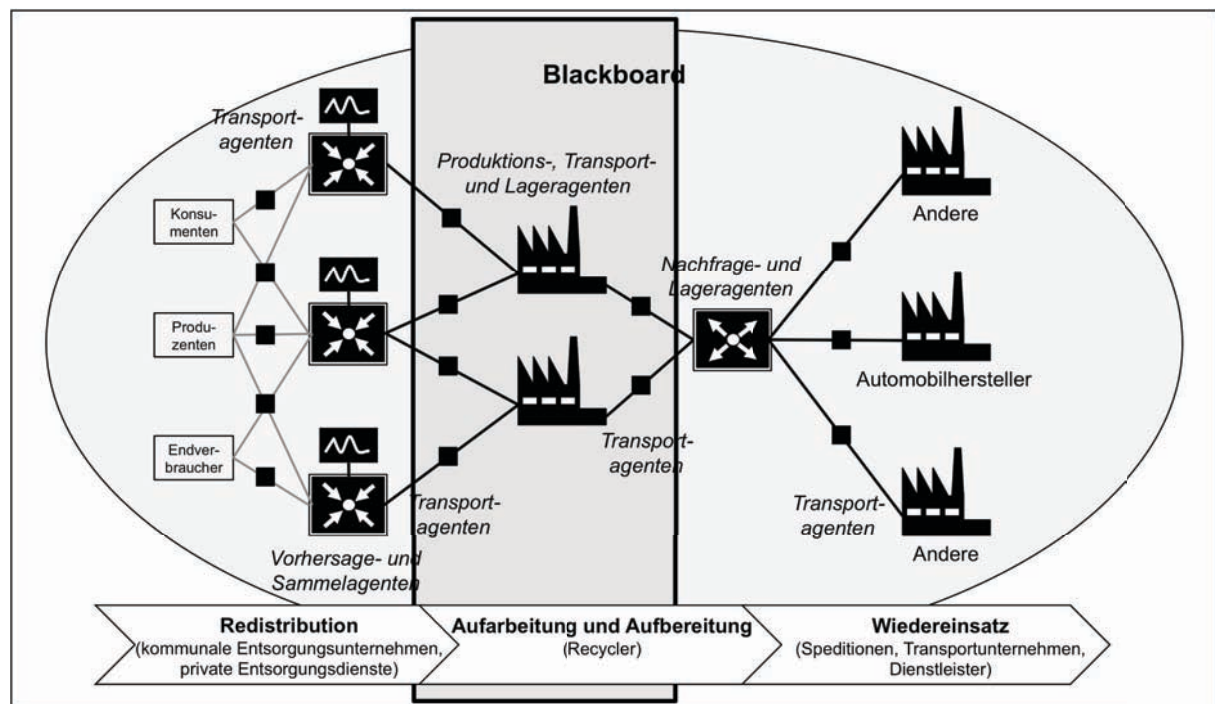


Abbildung 54: Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung Recycling und Verwertung

Katalog 4: Ganzheitliches Rückführungsmodell

Abfallerzeuger > Abfallerfasser > Abfallverwerter (Recycler) > (Abfallberater)

Der Katalog 4 schließt alle beteiligten Akteure der Rückführungslogistik von der Entstehung und Redistribution der Altprodukte und Reststoffe bis zu deren Aufarbeitung- und Aufbereitung ein. Zusätzlich werden ganzheitlich die in Tabelle 10 aufgeführten Agenten für den Wiedereinsatz der Sekundärrohstoffe einbezogen. Die Übersicht der beteiligten Agenten des Kataloges ist in Abbildung 55 schematisiert.

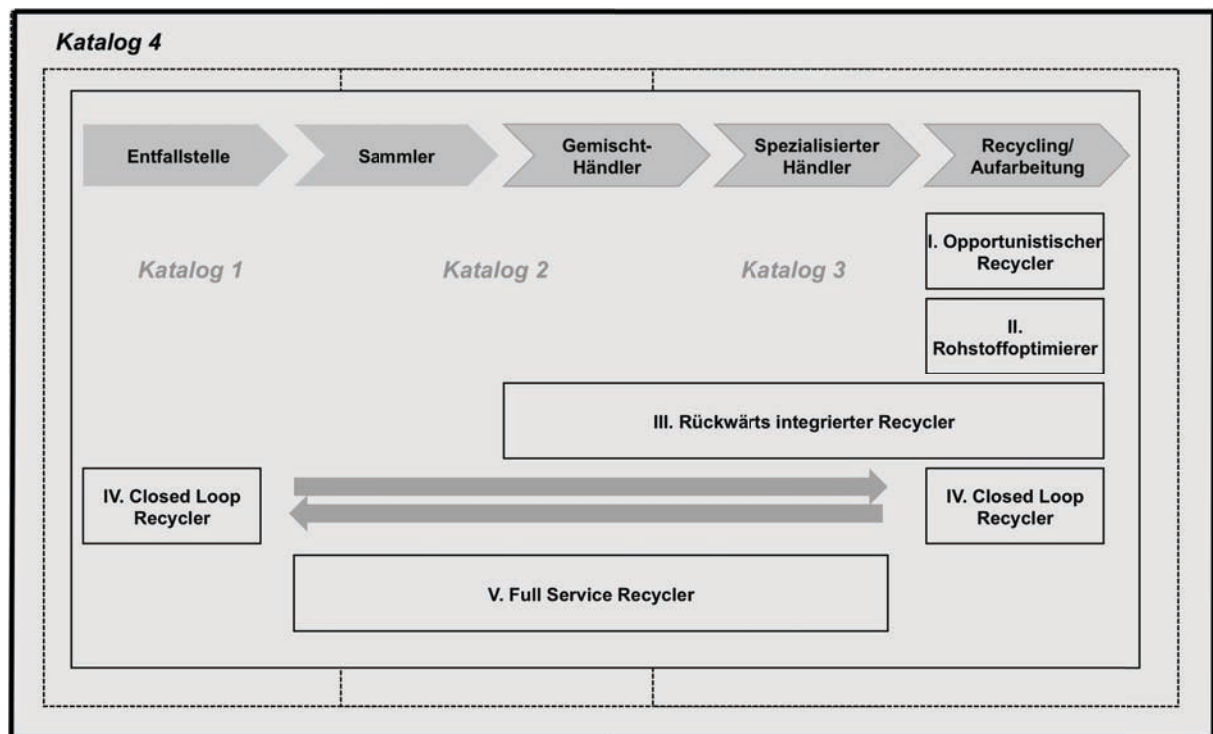


Abbildung 55: Selektiver MAS-Katalog 4: Ganzheitliches Rückführungsmodell

Da das ganzheitliche Rückführungsmodell des vierten Kataloges alle charakterisierten Agenten beinhaltet, handelt es sich in diesem Fall nicht mehr um eine Selektion, sondern um ein vollständiges MAS, wie in Abbildung 56 gezeigt wird.

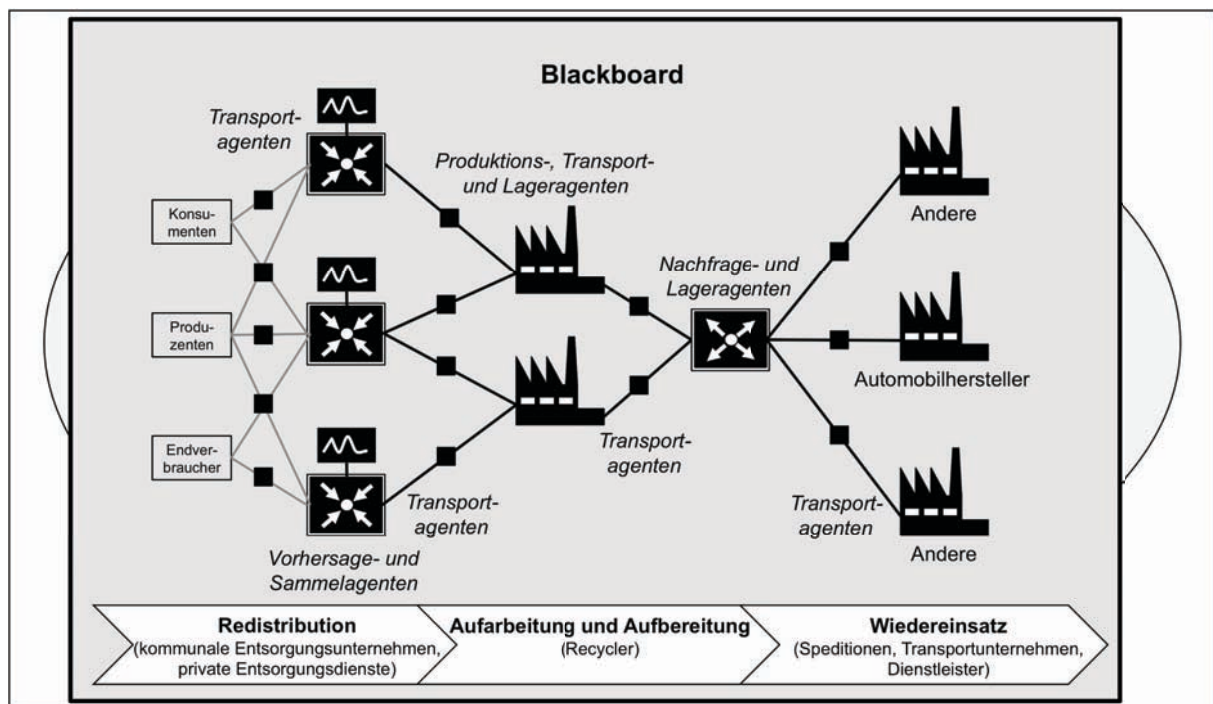


Abbildung 56: Ein- und Abgrenzung für die selektive MAS-Steuerung ganzheitliches Rückführungsmodell

Die benannten Abfallberater werden in diesem Katalog aufgeführt. Sie gehören in den praktischen Abläufen nicht der Rückführungskette an und wurden in dieser Arbeit nicht behandelt. Sie sind aber beratend für die effektive und effiziente Arbeit der beteiligten Rückführungsunternehmen tätig und wurden von den Praxispartnern als konstruktiver Bestandteil beurteilt.

4.11 Kriterien für die Auswahl und Einordnung in die selektive MAS-Steuerung

Für eine Zuordnung zu den Modellen der Katalogisierung soll ein Vorschlag für Recyclingunternehmen mit Kriterien gegeben werden, anhand deren sich die Unternehmen in die Ebenen der selektiven MAS-Steuerung einordnen und Auswirkungen einschätzen können. Es existieren eine Vielzahl von Kriterien, wobei die *räumliche*, *wirtschaftliche* und *qualitative Kriterienbildung* relevant ist.

Die *räumlichen Kriterien* veranschaulichen die Verortung der geschäftlichen Aktivitäten hinsichtlich einer Regional-, National- oder Internationalität. Die

wirtschaftlichen Kriterien betreffen den Investitionsbedarf, administrativen Aufwand und mögliche Skaleneffekte, die bei der Selektion der MAS-Steuerung erforderlich sind. Die Finalität, Flexibilität, Bedienbarkeit und der Servicegrad sind ausschlaggebende *qualitative Kriterien* für die erfolgreiche Bildung selektiver MAS-Systeme.

In Abbildung 57 findet eine Kriterienbildung und Bewertung für die Auswahl ebenenbasierter MAS-Steuerungssysteme statt. Die verschiedenen grau unterlegten Flächen stellen die Kriterienkategorien dar. Die gefüllten Flächen der kreisförmigen Illustrationen geben den Bedeutungs- und Gewichtungsgrad des jeweiligen Kriteriums zu der entsprechenden Ebene wieder, anhand deren die Unternehmen eine Entscheidung für ihre Strategie zur Beteiligung an einer MAS-Steuerung treffen können.

Ist beispielsweise die Leistung eines Unternehmens für eine hohe flexible regionale Bedienbarkeit von Altprodukten und Reststoffen wichtig, die aufgrund geringer Behandlung und Bearbeitung einen geringen Servicegrad erfordern, ist die Einordnung in die Ebene 1 der selektiven MAS-Steuerung empfehlenswert. Im Gegensatz dazu, wird ein Unternehmen, das einen hohen Wert auf internationale Geschäftsbeziehungen und Serviceleistungen in der gesamten Wertschöpfungskette für die Produktion und Bereitstellung von Sekundärrohstoffen legt, die hohe Investitionskosten und großen administrativen Aufwand erfordern, die Eingruppierung in die Ebene 5 der Full Service Recycler vornehmen.

Auswahl	Kriterien									
	Regionalität	Nationalität	Internationalität	Investition	Administration	Skaleneffekte	Finalität	Flexibilität	Bedienbarkeit	Service
opportunistische Recycler (Ebene 1)	●	◐	◑	◑	◑	◑	◑	◑	●	◑
Rohstoffoptimierer (Ebene 2)	●	◐	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑
rückwärts integrierte Recycler (Ebene 3)	◑	●	◑	◑	◑	◑	◑	●	◑	◑
Closed Loop Recycler (Ebene 4)	◑	●	●	◑	◑	●	●	◑	◑	●
Full Service Recycler (Ebene 5)	◑	●	●	●	●	◑	◑	◑	◑	●





 Trifft eher nicht zu
  Trifft teilweise zu
  Trifft eher zu
  Trifft zu

Abbildung 57: Kriterien zur Auswahl in die selektive MAS-Steuerung

4.12 Nachfrage- und Kapazitätssteuerung in selektiven MAS

Das folgende Rechenbeispiel stellt eine Erläuterung selektiver MAS-Steuerung dar und zeigt, wie innerhalb dezentralisierter mehrschichtiger³⁸⁷ Strukturen, Entscheidungen sowie optimale Ergebnisse zwischen den selektiven MAS kooperativ getroffen und erreicht werden.

Abbildung 58 veranschaulicht anhand eines Supply-Chain-Szenarios die Ausführungen des Kapitels, das die kooperative Nachfrage- und Kapazitätsplanung in einem Netzwerk – Demand and Capacity Network Planning (DCNP) – aus übergeordneter Sichtweise erläutert.

³⁸⁷ In der englischsprachigen Literatur wird der Terminus „multi-tier“ genannt.

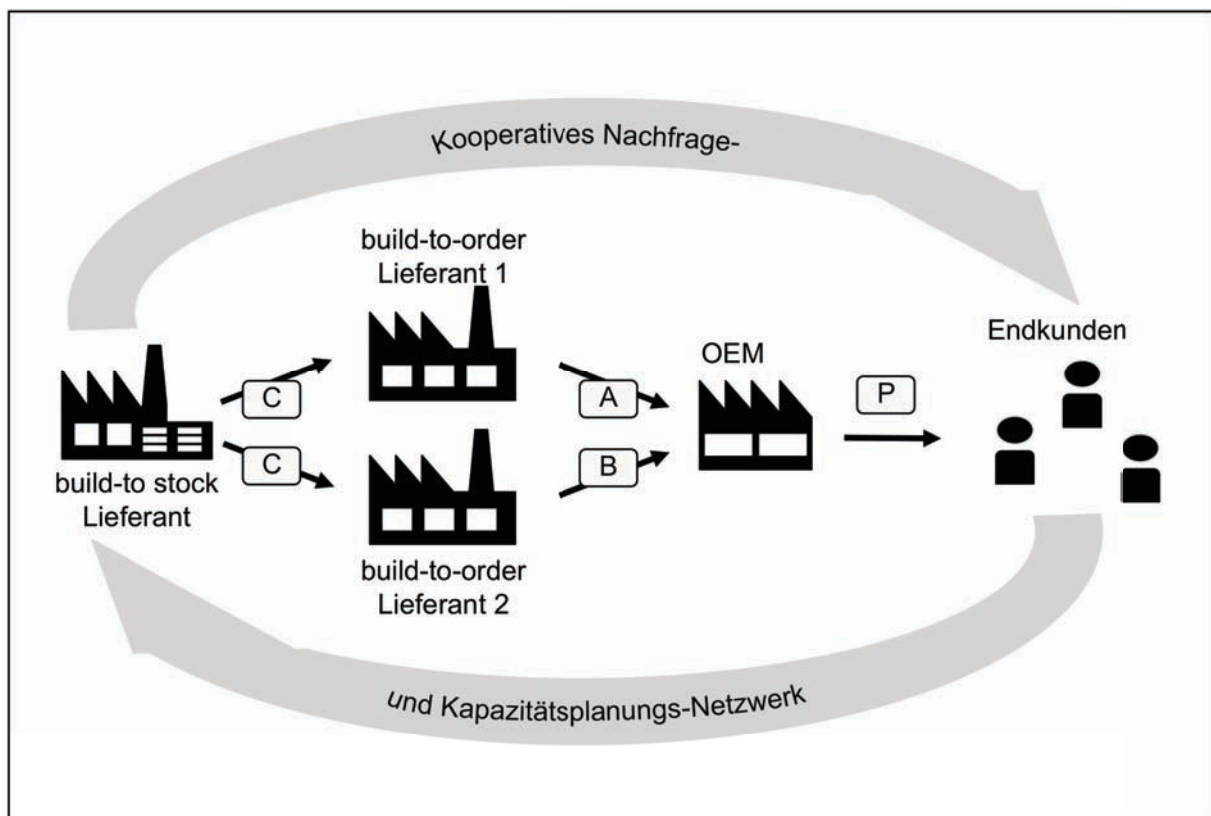


Abbildung 58: Supply Chain Szenario (Quelle: angepasste Darstellung in Anlehnung an Hellingrath/Küppers 2011, S. 15)

Das DNCP-Konzept ermöglicht eine koordinierte Multi-Ebenen (multi-tier) Zusammenarbeit zur Verbesserung betrieblich übergreifender Prozesse sowie die Erfüllung von Kundenbedürfnissen. In Verbindung mit einem agentenbasierten System zeigt Abbildung 59 die exemplarische Agentenverteilung innerhalb des Supply Chain Szenarios in untergliederter Sichtweise.

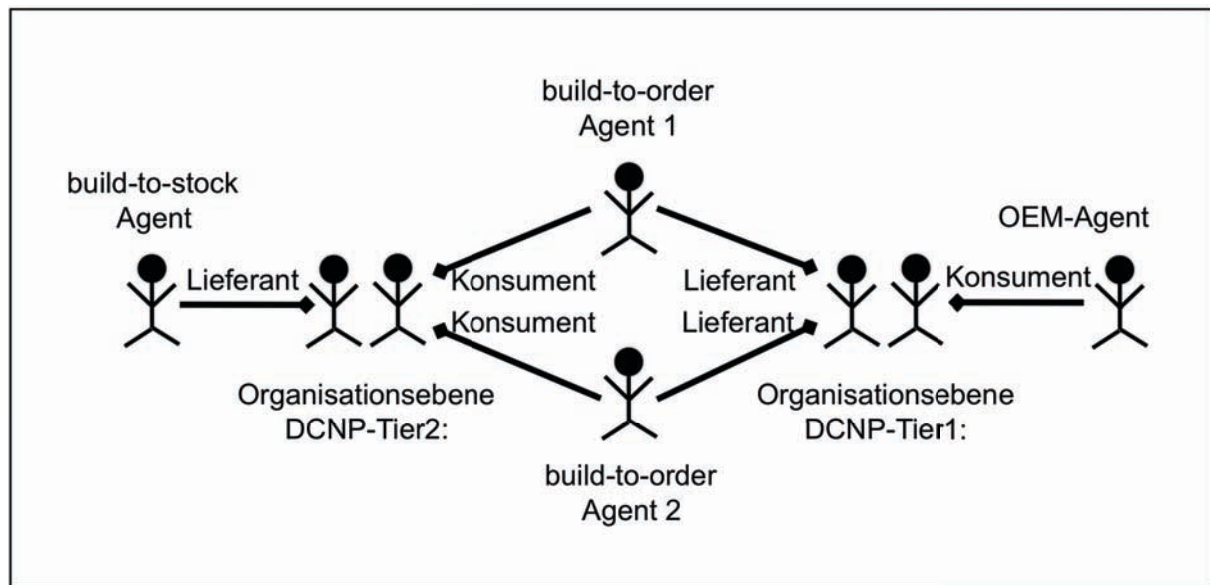


Abbildung 59: Exemplarische Agentenverteilung (Quelle: angepasste Darstellung in Anlehnung an Hellingrath/Küppers 2011, S. 15)

Für die Veranschaulichung der Ausführungen werden in diesem Beispiel build-to-stock (BTS), build-to-order (BTO) und OEM-Agenten verwendet, die zwischen zwei verschiedenen Organisationsebenen autonom interagieren und selektiv in die Agentenverteilung des MAS integriert, ersetzt oder eliminiert werden können.

Das Szenario erfasst nur die typischen Merkmale eines DNCP-Konzepts, die für die Nachfrage- und Kapazitätsplanung zur Produktion von Sekundärrohstoffen erforderlich sind. Dazu gehören in darstellender Form die divergierenden und konvergierenden Materialströme zwischen den Agenten, welche die Bewegungen und zusätzlich die Informationsweitergabe in einfach verständlicher und nachvollziehbarer Form für die gemeinsame Planung darstellen.

Der BTS-Agent bildet in diesem Szenario aus rückführungslogistischer Perspektive den Endpunkt des Downstreams der vorwärtsgerichteten Logistik und den Ausgangspunkt des Upstreams für die rückwärtsgerichtete Logistik. Er agiert als Empfänger von rückführenden Altprodukten und Reststoffen und beliefert die BTO-Agenten mit den Materialien (C) aus seinem Bestand. Die BTO-Agenten verwenden diese Materialien und richten sie – reinigen, zerlegen, sortieren, selektieren etc. – für den OEM-Agenten auftragsgerecht her.

Der OEM-Agent verwendet die gelieferten Sektionen (A), (B) von den BTS-Agenten für die Aufarbeitung, Aufbereitung und Erzeugung von Sekundärrohstoffen. Diese werden vom OEM-Agenten nachfragebezogen an die Endkunden geliefert, die im Fallbeispiel die Recyclingunternehmen und Produzenten repräsentieren und mit dem Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen Neuprodukte herstellen. Sie markieren zudem gleichzeitig den End- und Anfangspunkt des Upstreams der rückführenden und vorwärtsgerichteten Logistik.

Die zwei Organisationsebenen aus Abbildung 50 repräsentieren die Selektion innerhalb des vollständigen MAS, in denen die Agenten in geringerem Koordinationsaufwand zwischen $2 + n \subseteq N$ Unternehmen agieren, wobei N die Gesamtmenge der Unternehmensagenten im MAS darstellt und $2 + n$ die Teilmenge von mindestens zwei beteiligten Unternehmensagenten in einem kooperativ koordinierten, selektiven MAS zeigt. Die Tier2-Ebene umschließt die BTS- und BTO-Agenten und die Tier1-Ebene die BTO- und OEM-Agenten. Beide Ebenen, stehen in ständigem Kontakt mit ihren Nachfrager- oder Endkundenagenten. Die koordinierte und kooperative Zusammenarbeit zwischen diesen beiden Teil-MAS erfolgt über die Schnittstelle der BTO-Agenten, da diese in übergreifender Form Kontakt zu den beteiligten Agenten der selektiven MAS besitzen.

Nach der Definition des Szenarios und der Anordnung der selektiven MAS werden die Schritte für die Nachfrage- und Kapazitätsplanung festgelegt. Dabei findet ebenfalls eine Umschreibung der Agenten in den Organisationsebenen Tier1 und 2 statt, wobei in der ersten Ebene die ausführenden Agenten und in der zweiten Ebene die planenden und liefernden Agenten zum Einsatz kommen.

Für die Verständigung des beschriebenen selektiven MAS-Effekts wird ein leicht nachvollziehbares Nachfrage- und Kapazitätsplanungsszenario dargestellt und in seinen Zusammenhängen erläutert. Dabei werden zur Erreichung eines optimalen Ergebnisses einfache Szenarioparameter herangezogen.

Dem OEM-Agenten liegen Nachfrageprognosen für Sekundärrohstoffe für die nächsten zehn Perioden seitens der Endkunden in der Logistikkette vor. Diese

berücksichtigt er in seiner Kapazitätsplanung und bestimmt damit seine Kapazitätsgrenzen. Der Austausch der Daten und Kennzahlen innerhalb der ersten Organisationsebene zwischen dem OEM- und den BTO-Agenten erfolgt über ein webbasiertes, selektives MAS.

Der OEM-Agent produziert ein Produkt (P) für die prognostizierte Nachfrage der kommenden Perioden. Für die Produktion von einem P benötigt er zu gleichen Teilen die gebildeten Rückstandsfraktionen A und B der BTO-Agenten, was einem Kapazitätskoeffizient=1 entspricht. Diese übermitteln ihren Bedarf über das nächste webbasierte, selektive MAS an den BTS-Agenten in der zweiten Organisationsebene.

Der BTS-Agent verfügt über ein Lager mit Altprodukten und Reststoffen, welche die BTO-Agenten nachfragen, um die Logistikkette beziehungsweise den OEM-Agenten mit Rückstandsfraktionen zu bedienen. Alle Agentenrollen können Ausgleichsmaßnahmen einleiten, um sich flexibel an Änderungen in der Nachfrage- und Kapazitätsplanung anzupassen, wie zum Beispiel:³⁸⁸

- Bedarfsanpassung: räumliche und zeitliche Verteilungen, Verschiebungen oder Bedarfsablehnungen mit Lieferanten und Kunden ermöglichen einen Bedarfsabgleich für die Auflösung von kapazitativen Engpässen,
- Ressourcenanpassung: Personaleinstellungsmaßnahmen und Arbeitszeitmanagement der Mitarbeiter sowie Investitionen in neue Betriebs- und Geschäftsausstattung für die direkte Zuordnung und Abstimmung der verfügbaren Ressourcen,
- Strukturanpassung: Auswahl neuer oder weiterer Lieferanten in der Netzwerkstruktur, neue Wertschöpfungsverteilung, zum Beispiel Verantwortlichkeiten, Zuordnungen oder Outsourcingmaßnahmen,
- Prozessanpassung: gestalterische Beseitigung von Kapazitätsengpässen durch die Materialversorgung aus einem Vendor-Managed-Inventory, Einführung von Prozessen von Eilaufträgen oder Maßnahmen für die Beseitigung von Verzögerungen in der Auftragsabwicklung und -bearbeitung.

³⁸⁸ Vgl. Hegmanns 2010, S. 46.

Die durchschnittlich prognostizierte Nachfrage der Endkunden und die genannten steuernden Ausgleichsmaßnahmen für die Nachfrage- und Kapazitätsplanung ergeben eine vereinbarte obere und untere verfügbare Produktionskapazität zwischen den Agenten. Die Veranschaulichung der koordinierten Nachfrage- und Kapazitätsplanung ist in Abbildung 60 dargestellt.

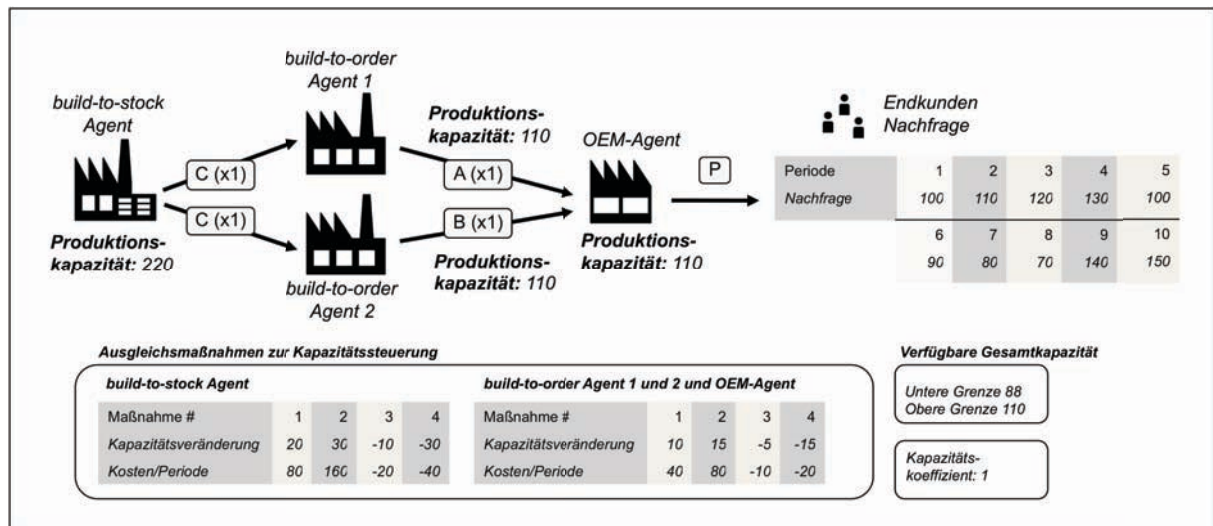


Abbildung 60: Nachfrage- und Kapazitätsgrößen im selektiv, kooperativen MAS (Quelle: Hellingrath/Küppers 2011, S. 16)

In der Abbildung sind die Produktionskapazitäten der einzelnen Agenten, die Endkundennachfragen, die Ausgleichsmaßnahmen zur Kapazitätssteuerung und die verfügbare Gesamtkapazität im Netzwerk zu sehen. Dabei wird zwischen einer oberen und unteren kapazitären Grenze unterschieden.

Die obere Gesamtkapazität ergibt sich durch den durchschnittlichen Grundbedarf der Endkunden über 10 Perioden die auf 110 prognostiziert und berechnet wurde. Die untere Grenze der verfügbaren Gesamtkapazität entwickelt sich durch die Adaption des durchschnittlich abweichenden Bedarfs der Endkunden, der mit Hilfe der Ausgleichsmaßnahmen in die Nachfrage- und Kapazitätsplanung aufgenommen wird. Die Ausgleichsmaßnahmen erfolgen in analoger Form innerhalb und zwischen den selektiven MAS. Durch den koordinier-

ten Austausch der Aktivitäten wird eine untere Kapazitätsgrenze von 88 festgelegt.³⁸⁹

In diesem exemplarischen Rechenbeispiel wird festgehalten, dass durch die Selektion eines MAS die Nachfrage- und Kapazitätsplanung auf verschiedenen Organisationsebenen funktioniert. Die Vorteile selektiver MAS liegen in:

- dem wesentlich geringeren Aufwand für den Aufbau ganzheitlicher MAS,
- der begrenzten Koordination innerhalb der selektiven MAS,
- der systemübergreifenden Kommunikation und Abstimmung zwischen den Agenten der selektiven MAS und
- der vollständigen Funktionalität einer übergreifenden Lösung für die Erfüllung wirtschaftlicher und marktorientierter Interessen.

4.13 Ergebnisse und Nutzen des Vorgehens

Die Kombination der Vorteile von Multiagentensystemen und dynamischer Disposition zu einem multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystem haben einen großen Einfluss auf die Ergebnisse und den Nutzen der Sekundärrohstofflogistik.

Die Vorteile und der Nutzen des Einsatzes von MAS sowie selektiven MAS in Supply Chain Strukturen und Produktionsumgebungen werden im Folgenden zusammengefasst:³⁹⁰

- Autonomität – Die Agenten operieren selbständig und autonom nach ihren eigenen Regeln und Prinzipien ohne direkte Interventionen oder Eingriffe von außen. Sie haben die Fähigkeit, Problemstellungen zu

³⁸⁹ Für die Erfassung der Berechnung: Produktionskapazität obere Grenze:

$\sum_{i=1}^{10} \text{Endkundennachfrage } (1090)/10 = 109 \approx 110$, Produktionskapazität untere Grenze:

$\sum_{j=1}^4 \text{Kapazitätsanpassungen } (90)/4 = 22,5 \hat{=} 110 - 22,5 = 87,5 \approx 88$. Die Berechnung der unteren

Grenze orientiert sich an den Ausgleichsmaßnahmen, welche der BTS-Agent vornimmt. Die Durchführung der Maßnahmen begründet er durch die rekursive Weitergabe der Kundenbedarfsinformationen durch die gesamten selektiven MAS. Vgl. Hellin-grath/Küppers 2011, S. 14-16.

³⁹⁰ Vgl. Lee/Kim 2008, S. 234-235. Vgl. hierzu auch Maturana et al. 2004, S. 51.

lösen, sich mit anderen Agenten auszutauschen und aus ihrem entsprechenden Verhalten zu lernen.

- Interaktion – Die Agenten besitzen die Fähigkeit, mit Hilfe von Protokollsprachen mit anderen Agenten zu kommunizieren. Die Interaktionen dienen dazu, in kooperativer Form den Status des Gesamtsystems zu verbessern und in eigenständiger Form Informationsbarrieren für die Lösung komplexer Probleme zu überwinden.
- Adaption – Die Fähigkeit zur Adaption ermöglicht den Agenten, sich auf veränderte Umgebungsbedingungen einzustellen und ihr Verhalten durch systematisches Ausprobieren auf die jeweiligen Situationen anzupassen. Die Zielorientierung der Agenten als Menschen oder softwaregesteuerten Programme verdeutlicht, dass sie auch in unsicheren unerwarteten Umgebungen und einer dafür begrenzten Wissensbasis aktiv nach Lösungen suchen und mit entsprechenden Anpassungen rationale Entscheidungen treffen.

Weitere Vorteile von MAS, die hier nur stichpunktartig genannt werden, sind Recheneffizienz bei der Problemlösung, Zuverlässigkeit, Erweiterbarkeit, Stabilität, Instandhaltbarkeit und Reaktionsfähigkeit des Systems sowie Flexibilität und Wiederverwendbarkeit der Agenten.³⁹¹

Die Vorteile der dynamischen Disposition liegen in der schnellen Reaktionsfähigkeit auf aktuelle Ereignisse und in der permanenten Anpassungsfähigkeit der Strategien und Dispositionsparameter auf eintretende externe oder interne Veränderungen.³⁹²

Bei den traditionellen Dispositionsverfahren erfolgt eine zeitliche Zuordnung der auszuführenden Tätigkeiten zu den verfügbaren Ressourcen. Das Resultat der Disposition ist die zeitliche und aufeinander folgende Reihung der zu erledigenden Aufgaben. In Abbildung 61 ist dieser Prozess vereinfacht dargestellt.

³⁹¹ Vgl. Sycara 1998, S. 80.

³⁹² Vgl. Gudehus 2006, S. 6.

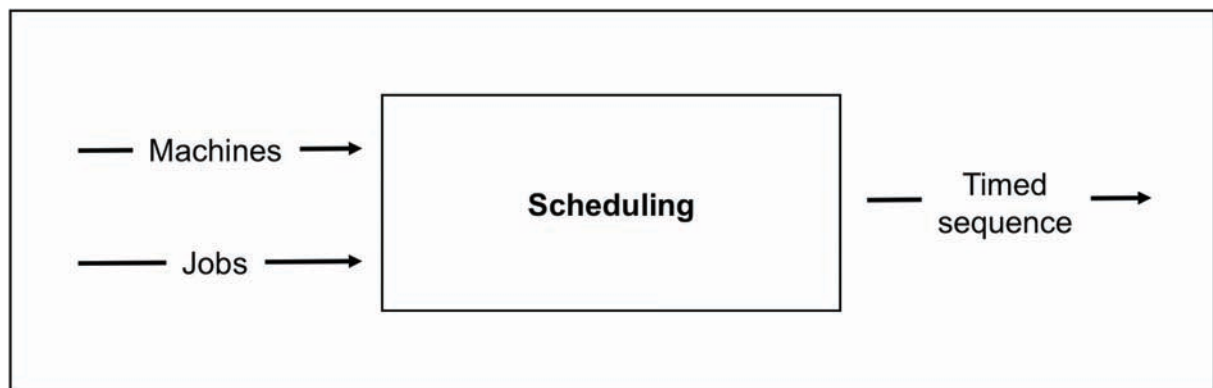


Abbildung 61: Traditionelle Disposition (Quelle: McKay/Wiers 1999, S. 248)

Im Gegensatz zur traditionellen Disposition wird in dieser Arbeit ein dynamischer Dispositionsansatz gewählt. Grund sind die beschriebenen Unsicherheiten.³⁹³ Sie spielen eine entscheidende Rolle im Dispositionsprozess und können eine Reihe von Beeinträchtigungen beispielsweise in der Kapazitätsplanung oder in der Materialflusssteuerung hervorrufen.

Für den Ausgleich dieser Unsicherheiten sind andere Denkansätze und Sichtweisen bei der Disposition erforderlich. Die Dynamische Disposition verfolgt drei Prinzipien, die für die Reaktion auf Unsicherheiten und demzufolge für die Entscheidungsfindung in der Sekundärrohstofflogistik gut geeignet sind und sich vorteilhaft auswirken:³⁹⁴

- **Partialität** – Der Dispositionsprozess und die Ausführung der Dispositionsentscheidungen werden permanent überwacht und aufgezeichnet. Dabei werden kritische und problembehaftete Teilbereiche oder -gebiete im Produktions- und Logistikprozess identifiziert und konzentriert auf die Lösung dieser Sachverhalte geachtet.
- **Vorhersagefähigkeit** – Die Verantwortlichen der Disposition antizipieren, reagieren und stimmen externe Umgebungseinflüsse, Unsicherheiten oder Beeinträchtigungen mit den Produktions- und Logistikprozessen ab. Für die Antizipation unvorhergesehener Ereignisse wie zum Beispiel die mengenmäßige oder zeitliche Verfügbarkeit von

³⁹³ Vgl. hierzu Abschnitt 2.4.2.8.

³⁹⁴ Vgl. McKay/Wiers 1999, S. 250- 252.

Rückständen, kommen Prognosemethoden zum Einsatz.³⁹⁵ Beim Eintritt von unerwarteten Ereignissen wie beispielsweise Maschinenstillstände oder Stromausfälle werden durch die Dispositionsverantwortlichen Notfall- oder Ausweichpläne aktiviert.

- Zeitsensibilität – Der Prozess der dynamischen Disposition ist in Verbindung zu den Produktions- und Logistikprozessen sehr zeitempfindlich. Aspekte wie Bearbeitungsdauern, Start- oder End-Termine, Wartezeiten, Verzögerungen oder Terminpläne haben einen großen Einfluss auf die Disposition und wirken sich stark auf dispositionsbedingte Zusammenhänge wie Auftrags- und Bearbeitungsreihenfolgen aus.

Wie in den vorangegangenen Ausführungen bereits dargelegt, trägt die Kombination der genannten Vorteile von MAS und dynamischer Disposition dazu bei, auf die in der Arbeit genannten Herausforderungen und systemimmanenten Eigenschaften der Sekundärrohstofflogistik zu reagieren.³⁹⁶ Das konzipierte multiagentenbasierte dynamische Dispositionssystem hilft, die Vorteile zieladäquat für die Nivellierung der Produktions- und Logistikprozesse in der Sekundärrohstofflogistik einzusetzen und dadurch einen fließenden, effizienten sowie störungsfreien Materialfluss zu gewährleisten.

4.14 Zwischenfazit

Im vierten Kapitel wurde dargestellt, wie mit Hilfe eines netzwerkbasierten Multiagentensystems die dynamische Disposition in der Sekundärrohstofflogistik erfolgt. Die Anwendung von MAS im produktionswirtschaftlichen, industriellen Umfeld sowie im SCM ist seit den 1980er Jahren in der Wissenschaft und Forschung verstärkt in den Fokus gerückt.³⁹⁷ Mit dem Aufkommen und der steigenden Relevanz der Reverse Logistics wurden die Anwendungsmöglichkeiten von Multiagenten in Reverse Logistics-Netzwerken in der Literatur erkannt und analysiert. Die Literaturrecherchen haben ergeben, dass die Anwendung von MAS im Bereich der Reverse Logistics noch nicht ausreichend erforscht

³⁹⁵ Vgl. hierzu Abschnitt 3.2.3.2.

³⁹⁶ Vgl. hierzu Abschnitt 2.4.2.8 und 3.4.

³⁹⁷ Vgl. hierzu Abschnitt 3.3.2.

und ausgearbeitet ist.³⁹⁸ Zugleich wurde der Fokus auf die Anwendung von MAS in der Sekundärrohstofflogistik gelegt.

Im Verlauf des Kapitels wurde die Notwendigkeit einer koordinierten Zusammenarbeit in Unternehmensnetzwerken in der rückführenden Logistik dargestellt. Nach der Identifizierung des Anpassungsbedarfs der Disposition an die Sekundärrohstofflogistik wurden die logistische Netzwerkbildung und im Besonderen die Netzwerkgründung in rückführungslogistischen Systemen betrachtet. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine hohe Motivation für eine Netzwerkgründung besteht und die Auswirkungen auf die Teilbereiche der Sekundärrohstofflogistik sowie auf die Unternehmensziele einen positiven Effekt haben.

Die dynamische Disposition sowie die Selektion und Zusammenführung von MAS und die Adaption auf das System der Sekundärrohstofflogistik waren die Themenschwerpunkte dieses Kapitels. Es wurden Lösungsvorschläge für die Konzipierung und Gestaltung eines multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems gegeben. Die Darstellung der Durchführung der dynamischen Disposition mit Hilfe eines MAS stellen eine mögliche Funktions- und Wirkungsweise dar. Die Ermittlung von Ergebnissen und Nutzen, die mit diesem Vorgehen erzielt werden können, runden das Kapitel ab.

³⁹⁸ Vgl. hierzu Abschnitt 4.2.

5 Entwurf einer Methodik zur Bewertung, Übertragung und Umsetzung in die Halbleiterfertigung

5.1 Identifikation von Zusammenhängen zwischen der Halbleiterfertigung und der Rückführungslogistik

Der Produktionsprozess und die Umgebungsbedingungen der Halbleiterfertigung sowie die Darstellung des Rohstoffbedarfs zeigen Parallelen und Gemeinsamkeiten zu den Prozessen im Bereich der rückführenden Logistik.

Für die Zusammenfassung der Parallelen und Gemeinsamkeiten werden die Abschnitte 2.4.2.8 und 3.4 der Arbeit zu Hilfe genommen. Folgende Bedingungen zeigen die Identität der Prozesse in den Bereichen:

- Unsichere Produktionsumgebung – Produktionssysteme sind mit unsicheren und variierenden Faktoren behaftet. Im Bereich der Halbleiterfertigung sind diese Faktoren in erster Linie die Anlagenverfügbarkeit und -flexibilität, die verschiedenen Materialeigenschaften und die schwankende Produktionsausbeute. Der Bereich der rückführenden Logistik ist vor allem geprägt durch die fehlende Konstanz der Rückstandsströme, die schwer prognostizierbaren Rückstandsflüsse sowie durch die zeitlichen, mengen- und qualitätsmäßigen Unsicherheiten der Rückstandsarten.
- Zahlreiche Betriebsmittel und -anlagen – Die Halbleiterfertigung ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von Prozessschritten. Sie zählt zu einer der komplexesten Produktionsprozesse in der modernen Industrie.³⁹⁹ Für die Erzeugung der hochtechnologisierten Mikrochips und die damit verbundene Bewältigung der Komplexität in der Produktion sind zahlreiche Betriebsmittel und -anlagen erforderlich. In der Sekundärrohstofflogistik und im Besonderen im Bereich der Aufarbeitungs- und Aufbereitungslogistik sind ebenfalls zahlreiche Betriebsmittel und -anlagen aufgrund der existierenden Unsicherheiten bezüglich des Rückstandsaukommens und der Rückstandsflüsse erforder-

³⁹⁹ Vgl. Dümmler/Rose 2000, S. 501.

lich. Je höher zum Beispiel der mengenmäßige Anfall und je geringer der qualitätsmäßige Zustand der Rückstände ist, desto mehr Betriebsmittel- und -anlagen werden aufgrund der höheren Prozessdichte und -wiederholung benötigt.

- Maschinenstillstände und -ausfallzeiten – Die Produktionsprozesse in den Unternehmen werden durch plötzlich eintretende und unvorhergesehene Ereignisse wie Maschinenstillstände, -ausfallzeiten oder Kapazitätsengpässe beeinflusst. In dynamischen Umgebungen, wie sie in der Halbleiterfertigung oder der Rückführungslogistik vorzufinden sind, wird das Produktionsgeschehen durch diese Ereignisse mit zusätzlichen Herausforderungen konfrontiert. Die technologisch anspruchsvollen Betriebsmittel und -anlagen in der Halbleiterfertigung sind besonders fehler- und störanfällig und können zu Maschinenstillständen und Ausfallzeiten in der Produktion führen.
- Informationsverfügbarkeit und -versorgung – Die genaue Informationsverfügbarkeit und -versorgung ist eine wichtige Voraussetzung für einen kontinuierlichen und stabilen Produktionsprozess. In den betrachteten Bereichen dieser Arbeit sind zwei Phänomene zu erkennen. Das ist zum einen die fehlende Informationsverfügbarkeit und -versorgung hinsichtlich auftretender und vorhandener Rückstände im Bereich der rückführenden Logistik und zum anderen ist es das immense Daten- und Informationsvolumen in der Halbleiterfertigung aufgrund der vielen Prozessschritte und Operationen. Beide Phänomene sind ungeachtet der jeweiligen Umgebungsbedingungen zeitintensive und aufwendig zu steuernde Aktivitäten, die den Produktionsprozess negativ beeinflussen.

Für die Darstellung des Rohstoffbedarfs in den beiden Bereichen wird auf die Abschnitte 2.4.2.2 und 5.2 verwiesen.

Die Produktionsplanung und -steuerung sowie die Disposition von Produktionssystemen, die durch die genannten Aspekte charakterisiert sind, sind mit problemlösungsorientierten Fragen verbunden. Der erwähnte Rohstoffbedarf und die Rohstoffproblematik sowie die Identifikation von Einsparpotentialen für

den Einsatz oder Substitutionsmöglichkeiten von Rohstoffen erhöhen die Schwierigkeiten für die zu lösenden Produktionsentscheidungen. Wie in Abschnitt 3.3.2. bereits erörtert, sind MAS in der Lage, durch die Verteilung von Entscheidungskompetenzen, komplexe Produktions- und Dispositionsprobleme zu vereinfachen. Durch die Kombination von verschiedenen Dispositionstechniken und dynamischen Dispositionsmethoden auf Agentenebene kann die Flexibilität und Fehlertoleranz sowie die Effizienz der Produktionssysteme erhöht werden. In den weiteren Ausführungen werden der Einsatz von MAS in der Mikrochipindustrie sowie die Erweiterung um den Aspekt der rückführenden Logistik beschrieben. Die Ausführungen sollen die Relevanz des erarbeiteten und beschriebenen multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems für die Mikrochipindustrie sowie für viele weitere Branchen darstellen.

5.2 Rohstoffbedarf

In diesem Abschnitt geht es nicht darum, jede einzelne Rohstoffkomponente und Einsatzverhältnisse für die Zusammensetzung von Mikrochips zu analysieren. Vielmehr steht die Identifikation kritischer Rohstoffe mit hohen Importraten oder Nettowerten sowie kurzen Reichweiten und begrenzten Verfügbarkeiten im Vordergrund.

Halbleiter beziehungsweise die fertigen Computer-Chips bestanden in den 1980er Jahren aus circa 11 Elementen. In den 2000er Jahren waren in den Mikrochips bereits circa 45 und mehr Elemente des Periodensystems enthalten. Die Entwicklung soll zeigen, dass die Mikrochipindustrie einen großen Umfang der chemischen Elemente nutzt. Die Verfügbarkeit der Elemente oder das Vorhandensein geeigneter Substitute ist in vielen Fällen nicht genau bekannt. Dieser Tatbestand fördert die Untersuchung angebots- und nachfrageseitiger Rohstofftrends und die Entwicklung von Kritikalitätskriterien für ein Frühwarnsystem.⁴⁰⁰

Wie in den Ausführungen bereits angesprochen, wird in der Halbleiterfertigung hauptsächlich der Rohstoff Silizium verarbeitet. Für spezielle Anwendungen

⁴⁰⁰ Vgl. Hennicke et al. 2009, S. 21. Vgl. hierzu auch National Research Council 2008.

wie Leuchtdioden oder Hochfrequenztechnik werden auch Verbindungen aus Gallium oder Arsen als Rohmaterial verwendet.⁴⁰¹ Die genannten Elemente werden im Folgenden näher analysiert.

Die Kritikalität von Rohstoffen wird in der Literatur nach drei Kriterien bewertet:⁴⁰²

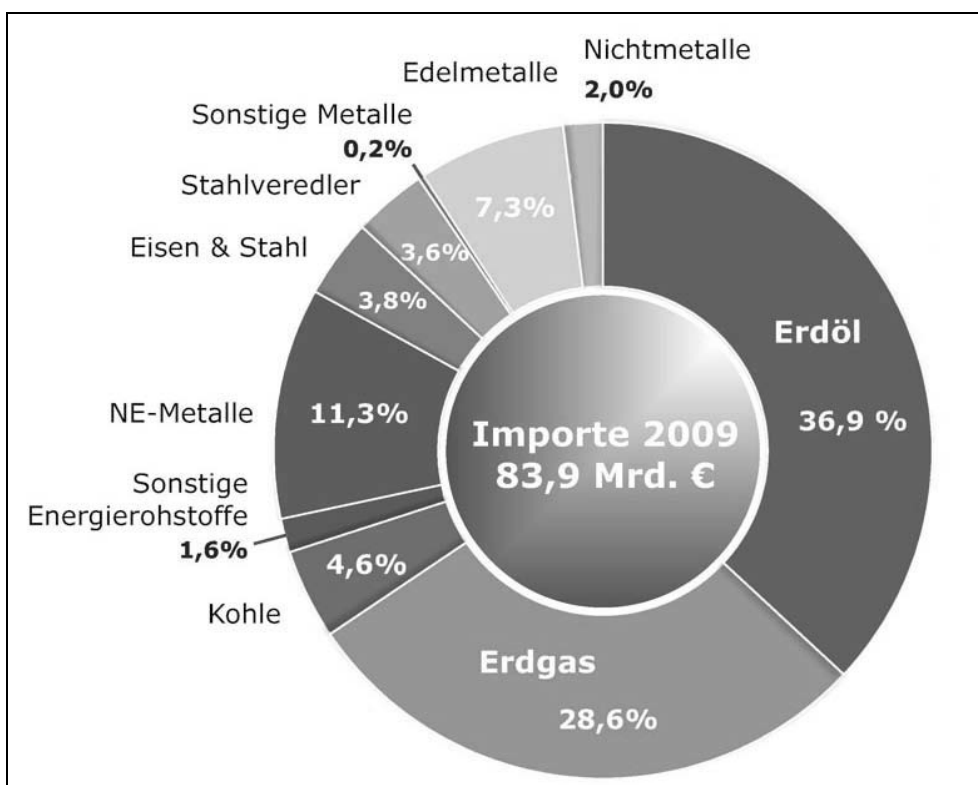
- Gesamtwirtschaftlicher Ausgabenanteil beziehungsweise Nettoimportwert,
- Konzentration der Förderung auf bestimmte Länder und
- politisches und wirtschaftliches Risiko der Länder.

Der gesamtwirtschaftliche Ausgabenanteil beziehungsweise der Wert der Nettoimporte für Rohstoffe beeinflusst zum Beispiel die Anfälligkeit für extreme Preissteigerungen oder bei Lieferengpässen. Dies ist von großer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit und Standortqualität eines Landes. Die Höhe der volkswirtschaftlichen Kosten für Rohstoffe bietet eine Orientierung für die Versorgungssicherheit. Je größer die Kostenanteile für Rohstoffe sind, desto effizienter sollten die Rohstoffe zur Senkung der Importabhängigkeit eingesetzt werden. Tabelle 14 bietet einen Überblick zu den deutschen Rohstoffimporten für das Jahr 2005 mit den höchsten Nettoimportwerten.⁴⁰³

⁴⁰¹ Vgl. Schömig 2000, S. 340; Mönch et al. 2009, S. 193 und Rupp/Ristic 2000, S. 391.

⁴⁰² Vgl. Hennicke et al. 2009, S. 17.

⁴⁰³ Vgl. Hennicke et al. 2009, S. 17. Vgl. hierzu auch BGR 2008.



Edelmetalle	%	NE-Metalle	%	Stahlveredler	%
Gold	3,18	Kupfer	6,14	Nickel	1,02
Platingruppenmetalle	2,54	Aluminium	3,64	Silizium	0,96
		Zink	0,64	Chrom	0,37
sonstige Edelmetalle	0,93	Blei	0,56	Mangan	0,35
		Zinn	0,18	Molybdän	0,34
		Magnesium	0,12	Titan	0,21
				Wolfram	0,15
				Niob, Tantal	0,10
				Kobalt	0,08
				Vanadium	0,05
Summe	7,30		11,28		3,63

Tabelle 14: Struktur der deutschen Rohstoffimporte im Jahr 2009, Anteile am Gesamteinfuhrwert in % (Quelle: BGR 2010, S. 40)

In der Tabelle ist zu sehen, dass Silizium im Vergleich zum Nettoimportwert von Erdöl nur einen Bruchteil einnimmt. Dennoch wird Silizium nach dieser Interpretationsmöglichkeit als kritischer Rohstoff eingestuft. Die Versorgungssicherheit mit Silizium für die Halbleiterindustrie ist dennoch enorm wichtig und sollte geprüft und Einsparpotentiale für den Einsatz oder Substitutionsmöglichkeiten identifiziert werden.

Die Bewertung der Kritikalität von Rohstoffen verändert sich, wenn keine nationalen sondern globale Kriterien wie Supply Risk und Impact of Supply Restriction betrachtet werden. Die Kriterien spiegeln ein komplexes System aus geologischer, regulatorischer oder technischer Verfügbarkeit von Rohstoffen sowie Auswirkungen von Lieferbeschränkungen oder -restriktionen wider. Die Wirksamkeit dieser Einflüsse können die Produktionsprozesse der Unternehmen verhindern, die Profitabilität beeinflussen oder eine innovative Produktentwicklung erschweren.⁴⁰⁴ In Abbildung 62 sind elf Metalle in ein Koordinatensystem dieser beiden Kriterien eingeordnet.

⁴⁰⁴ Vgl. Hennicke et al. 2009, S. 20. Vgl hierzu auch National Research Council 2008.

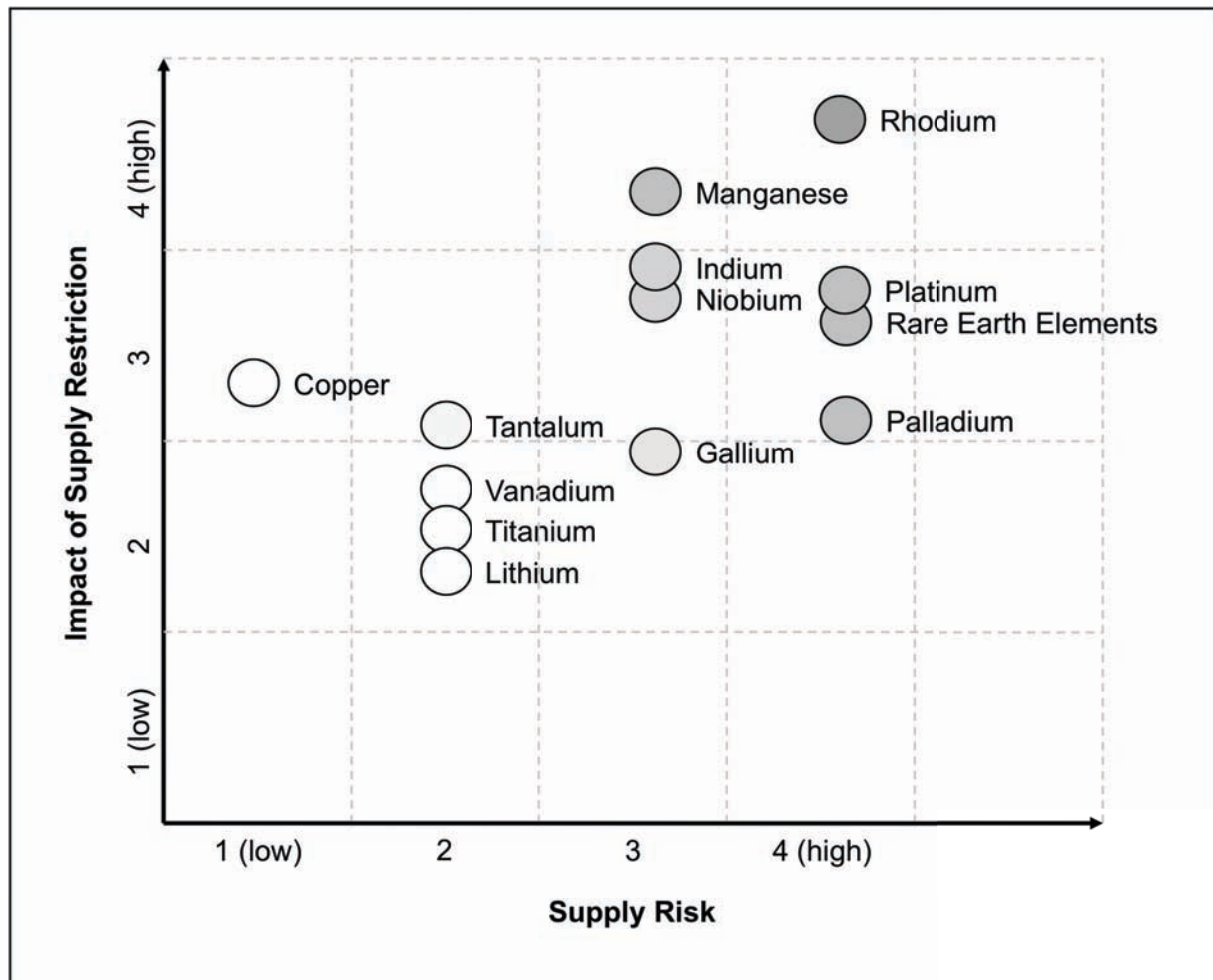


Abbildung 62: Kritische Rohstoffe nach globalen Kriterien (Quelle: Henricke et al. 2009, S. 20)

Die Markierung der Metalle und die zunehmende Intensität der Grautöne bilden die wachsende Kritikalität der Rohstoffe ab. Rhodium wird nach dieser Interpretationsmöglichkeit als sehr kritischer Rohstoff eingestuft. Es ist zu erkennen, dass der Rohstoff oder das Metall Gallium nach diesen Bewertungskriterien ebenfalls als kritisch anzusehen ist. Für die Halbleiterfertigung bedeutet diese Einstufung, dass für das Material Gallium gleichermaßen Einsparpotentiale für den Einsatz oder Substitutionsmöglichkeiten gesucht werden müssen.

Ein weiteres Instrument für die Identifikation kritischer Rohstoffe stellt die Ressourcenreichweite dar. Mit Hilfe der Ressourcenreichweite kann die Knappheit

eines Rohstoffes bewertet werden.⁴⁰⁵ Neben der Ressourcenreichweite ist die Reservenreichweite zu unterscheiden. Die Reserven bezeichnen die Mengen an Rohstoffen, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt wirtschaftlich sinnvoll abbau-
bar sind. Die Reservenreichweite gibt einen realistischeren Eindruck zur praktischen Verfügbarkeit von Rohstoffen. Sie sollte für die Bewertung der Kritikalität von Rohstoffen verwendet werden. In Tabelle 15 sind beispielhaft die Reserven- und Ressourcenreichweiten von Legierungsmetallen im Jahr 2004 dargestellt.

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reichweite in Jahren	
	in 1 000 t	in 1 000 t		Reserven	Ressourcen
Antimon	113,0	1 800	>3 900	16	35
Arsen	49,5	750	11 000	15	222
Beryllium	0,1	k. A.	80	k. A.	702
Magnesium	4 270,0	2 200 000	3 600 000	515	843
Tellur	0,1	21	>47	210	470

Tabelle 15: Förderung, Reserven, Ressourcen und Reichweiten von Legierungsmetallen (Quelle: BGR 2008, S. 20)

Unter den Legierungsmetallen in Tabelle 15 befindet sich auch der für die Halbleiterfertigung verwendete Rohstoff Arsen. Die Ressourcenreichweite von Arsen wird mit 222 Jahren angegeben, wohingegen die Reservenreichweite nur 15 Jahre beträgt. Dies stellt den kleinsten Wert im Vergleich zu den Reichweiten der anderen Legierungsmetalle dar. Die Jahresdifferenz der Reserven- und Ressourcenreichweiten von Arsen lassen vermuten, dass die vorhandenen Ressourcen derzeit nicht wirtschaftlich abgebaut werden können. Der Rohstoff Arsen sollte daher als kritisch angesehen werden, für den ebenfalls Einsparpotentiale für den Einsatz oder Substitutionsmöglichkeiten gefunden werden müssen.

5.3 Multiagentensysteme in der Mikrochipindustrie

Neben den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von MAS, die beispielsweise in Abschnitt 3.3.2.2 genannt sind, werden MAS auch im Bereich der Mikro-

⁴⁰⁵ Vgl. BGR 2008, S. 17.

chipindustrie eingesetzt. Aufgrund des produktionsintensiven und Rohstoff verarbeitenden Charakters dieses Industriezweiges, ist die Analyse und Thematisierung der Halbleiterfertigung in den Fokus der Betrachtungen gerückt. Die Anwendung von MAS und die Disposition im Bereich der Halbleiterfertigung werden im folgenden Abschnitt behandelt.

5.3.1 Multiagentenbasierte Disposition

Die Funktionsweise, Vorteile und Leistungsmöglichkeiten von MAS wurden in der Arbeit bereits geschildert. Die Motivation für den Einsatz von agentenbasierten Systemen zur Produktionssteuerung wurde jedoch noch nicht dargestellt. Daher wird in einem kleinen Exkurs dieser Aspekt angesprochen.

Motivation für agentenbasierte Produktionssteuerungssysteme

Die folgenden Punkte sind für die Anwendung einer agentenbasierten Produktionssteuerung von Bedeutung:⁴⁰⁶

- Produktionssysteme werden hinsichtlich dezentraler, heterarchischer Steuerungs- und Planungsstrukturen modularisiert. Agentenbasierte Systeme sind für die Modellierung modularer Systeme gut geeignet.
- Die zunehmende Prozesskomplexität oder die steigende Produkt- und Variantenvielfalt haben einen Paradigmenwechsel von zentralisierten zu dezentralisierten Produktionssystemen eingeleitet. Die verschiedenen Agenten eines MAS sind aufgrund ihrer lokalen Datenbasis in der Lage, Entscheidungen für die dezentral organisierten Prozesse vorzunehmen. Mit agentenbasierten Steuerungssystemen besteht die Möglichkeit, die zentralisierten betrieblichen Systeme durch MAS mit lokaler Datenhaltung und Entscheidungsbefugnis der Agenten zu ersetzen.
- Die Dynamisierung und zeitliche Veränderung von Produktionsprozessen oder Umgebungsbedingungen haben zur Folge, dass Produktionsstrukturen einem Wandel unterliegen. MAS besitzen die Fähigkeit, durch Austausch, Eliminierung oder Ergänzung von Agenten auf die Veränderungen zu reagieren.

⁴⁰⁶ Vgl. Mönch 2006a, S. 37. Vgl. hierzu auch Okubo et al. 2000 oder Parunak 1996.

Mönch hat sich in seiner Arbeit intensiv mit der agentenbasierten Steuerung für die Halbleiterfertigung auseinandergesetzt und ein Konzept dafür entwickelt. Für die Identifizierung der notwendigen Agenten und die Entwicklung der Agentenhierarchie benutzte er die Product-Resource-Order-Staff-Referenzarchitektur (PROSA)⁴⁰⁷ als Grundlage. PROSA ist eine Referenzarchitektur, ähnlich wie die in Abschnitt 4.7.1.3 beschriebenen Standard-Architekturen, die für die Modellierung von Agentensystemen verwendet wird. PROSA schlägt für den Aufbau von Fertigungssystemen Produkt-, Ressourcen- und Auftragsagenten vor.⁴⁰⁸ Abbildung 63 stellt die identifizierten Agenten für die Realisierung der Produktionssteuerung in der Halbleiterfertigung dar.

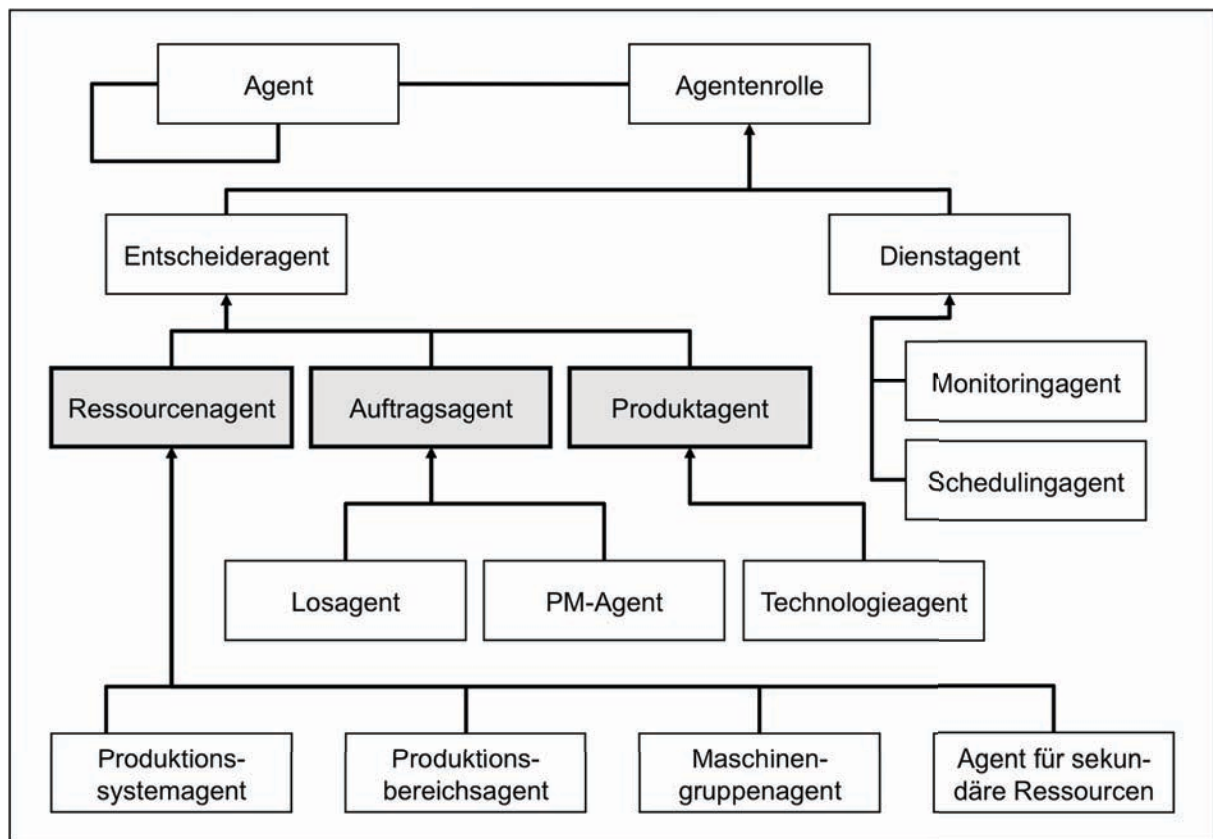


Abbildung 63: Agenten für die Realisierung der Produktionssteuerung in der Halbleiterfertigung (Quelle: Mönch 2006b, S. 113)

⁴⁰⁷ Vgl. hierzu zum Beispiel van Brussel et al. 1998; Verstraete et al. 2006; Valckenaers et al. 1998; Babiceanu/Chen 2006 oder Stehli 2011.

⁴⁰⁸ Vgl. Mönch 2006b, S. 113 und Mönch 2001a, S. 105-106.

Für die Realisierung der Produktionssteuerung wird in diesem Modell zwischen Entscheider- und Dienstagenten unterschieden. Entscheideragenten sind für die Entscheidungsfindung in den ihr zugeordneten Systembereichen zuständig. Die Identifikation beziehungsweise die Zuordnung der verschiedenartigen Agenten zu den jeweiligen Systembereichen erfolgt nach den zu lösenden Problemen, die für die Produktionssteuerung notwendig sind. Die Dienstagenten unterstützen die Entscheideragenten bei der Problemlösung und Entscheidungsfindung.

Die Dienstagenten beinhalten die Ablaufplanungs- und Monitoringfunktionen und werden in Form von Monitoring- und Schedulingagenten durchgeführt. In ihrer Wissensbasis sind Algorithmen verankert, die für die Lösung von Produktionssteuerungsentscheidungen erforderlich sind. Die Entscheideragenten greifen bei der Problemlösungsfindung in ihren Bereichen auf die Algorithmen der Dienstagenten zu. Die Dienstagenten erhalten dadurch einen serviceorientierten Charakter. Der Grund für diese Struktur ist die Trennung des Steuerungssystems von den Lösungsalgorithmen. Das bietet den Vorteil, dass die Entscheideragenten die vielfältigen Algorithmen in ihrer Wissensbasis nicht vorhalten müssen.

Die Agenten können in ihrem Einsatzzeitraum verschiedene Rollen oder Funktionen einnehmen. Die Agentenrolle beinhaltet Verhaltensrepertoires beziehungsweise eine Menge von Verhaltenszuständen, die für die Verhaltensausprägung der Agenten in den Bereichen des Produktionssystems gebraucht werden.⁴⁰⁹

Für die Durchführung und den Austausch der Funktionen zur Lösung der Produktionssteuerungsprobleme ist eine Interaktion zwischen Entscheider- und Dienstagenten erforderlich. An einem Beispiel wird in Abbildung 64 die Interaktion bis zur Übergabe der Ergebnisse von den Dienstagenten an den Entscheideragenten dargestellt.

⁴⁰⁹ Vgl. Mönch 2006b, S. 113.

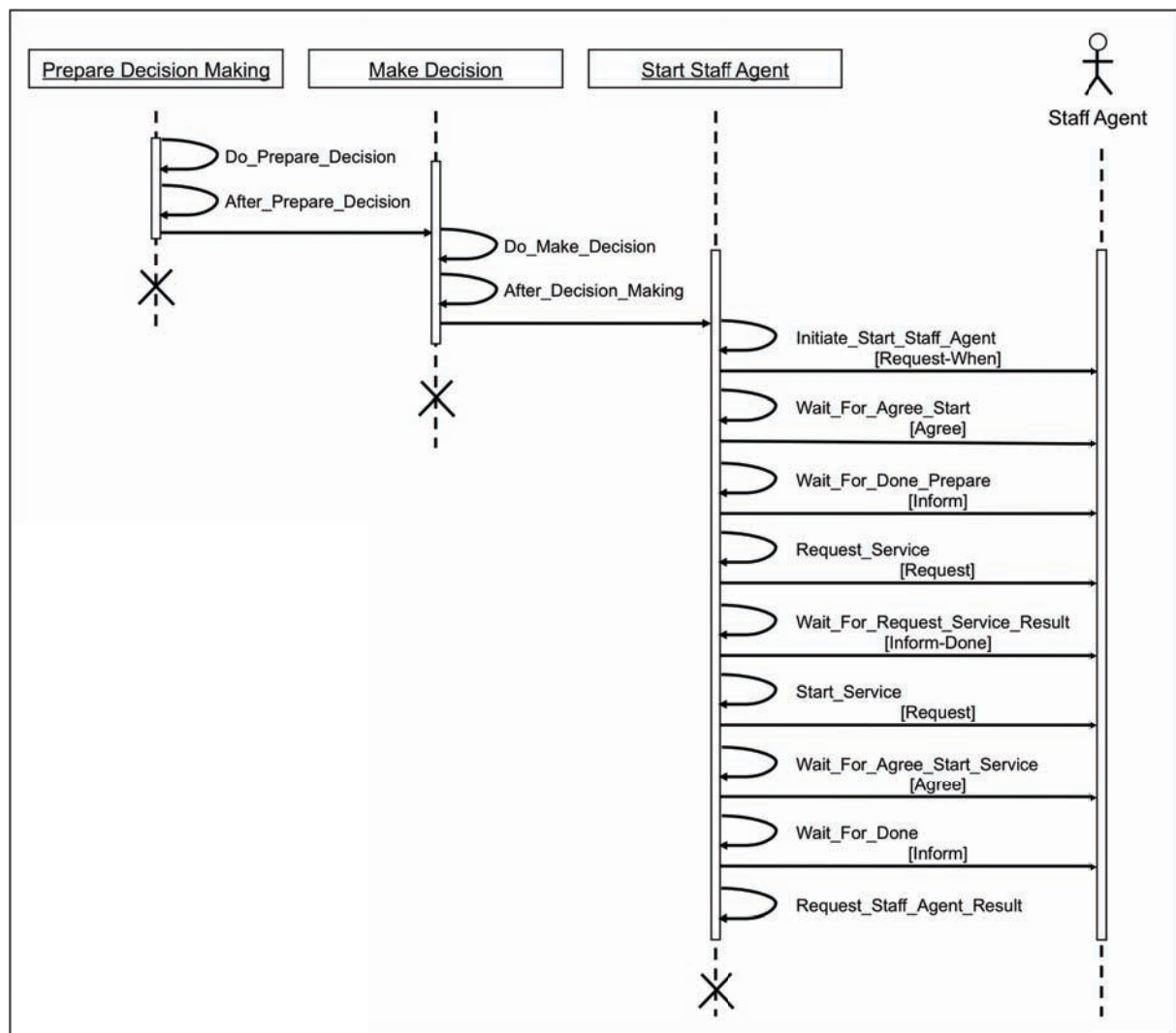


Abbildung 64: Interaktionen zwischen Entscheider- und Dienstagenten (Quelle: Mönch 2006a, S. 212)

Für die Realisierung und Implementierung eines MAS zur Produktionssteuerung in der Halbleiterfertigung nennt *Mönch* in seinen Ausführungen den FABMAS-Prototyp. FABMAS ist ein verteiltes hierarchisches Steuerungssystem, was im Rahmen eines Projektes für die Halbleiterfertigung entwickelt und als MAS implementiert wurde. Der Prototyp umfasst die folgenden Bestandteile:⁴¹⁰

- Laufzeitumgebung,
- Kommunikationsinfrastruktur,
- hierarchisch organisierte Entscheideragenten,

⁴¹⁰ Vgl. Mönch 2006a, S. 213-214.

- Dienstagenten,
- FABMAS-Ontologie und Contentsprache FABtalk,⁴¹¹
- blackboardbasierte Datenschicht als Bindeglied zwischen Steuerungssystem und dem ereignisorientierten Simulator,
- grafische Benutzeroberfläche für die Aktivierung des Steuerungssystems und die Visualisierung in der Datenschicht.

Der FABMAS-Prototyp wurde in den Programmiersprachen C++ und C# entwickelt und implementiert. In Abbildung 65 wird die Grobarchitektur des FABMAS-Prototyps wiedergegeben.

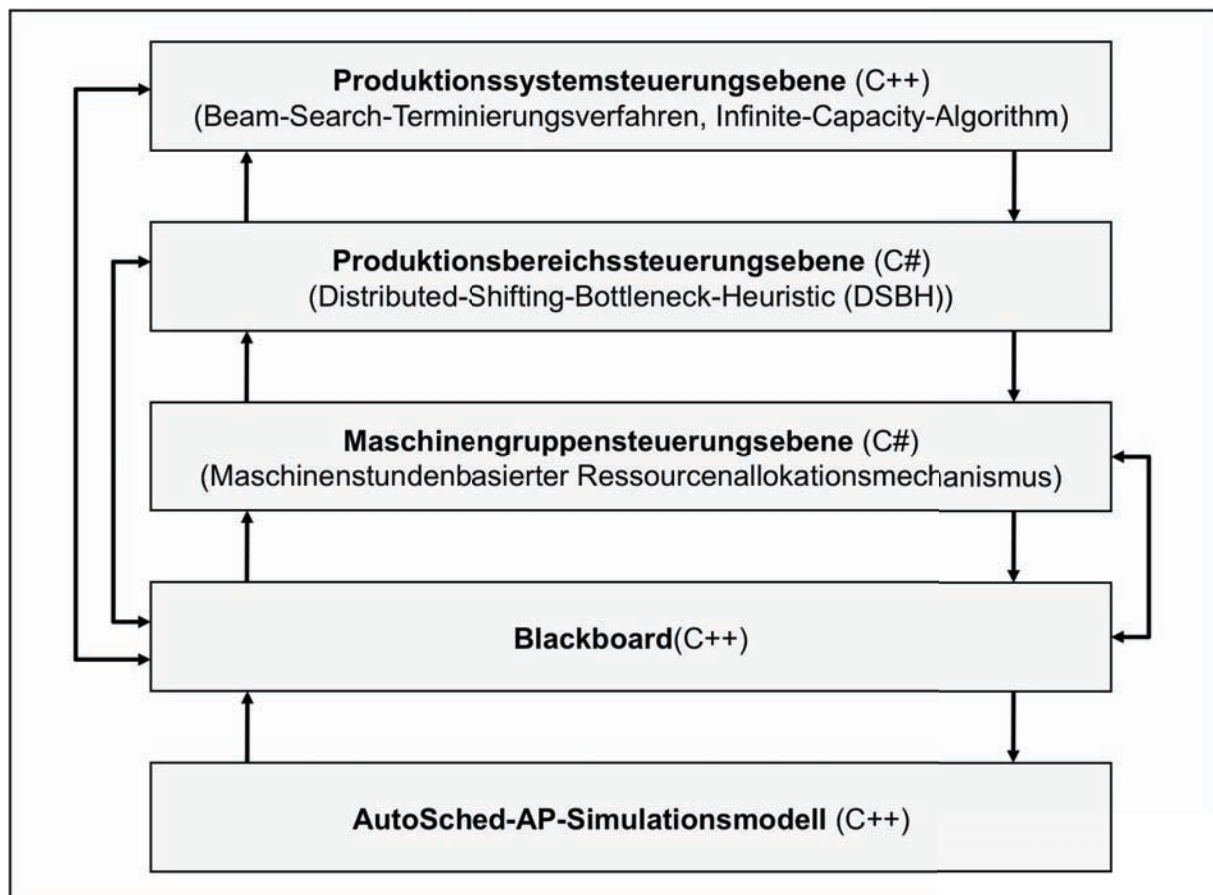


Abbildung 65: Grobarchitektur des FABMAS-Prototyps (Quelle: Mönch 2006a, S. 216)

⁴¹¹ Vgl. hierzu Mönch/Stehli 2003 und Mönch/Stehli 2004.

Für die nähere Spezifikation und Detaillierung des gesamten FABMAS-Systems und -Prototyps wird auf die weiterführende und fachspezifische Literatur verwiesen.⁴¹²

Die Disposition der Produktionsprozesse in der Halbleiterfertigung ist genauso wie die Disposition in anderen Produktionssystemen kein trivialer Vorgang. Aus diesem Grund wird nur ein Ausschnitt des komplexen Prozesses der Produktionssteuerung im Bereich der Mikrochipindustrie präsentiert. In Tabelle 16 ist eine Liste von Dispositionstechniken zusammengefasst, die in der Halbleiterfertigung Anwendung finden.

Scheduling techniques	
1. Dispatching heuristics/priority rule	
2. Mathematical programming techniques	(a) Branch and bound method (b) Lagrangian relaxation-based approaches (c) Filtered beam search (d) Decomposition methods (e) Queuing network models
3. Neighbourhood search methods	(a) Tabu search (b) Simulated annealing (c) Genetic algorithm
4. Artificial intelligence (AI) techniques	(a) Expert-/knowledge-based systems (b) Artificial neural networks (c) Fuzzy logic (d) Petri net based approaches

Tabelle 16: Dispositionstechniken in der Halbleiterfertigung (Quelle: Gupta/Sivakumar 2006, S. 1163)

5.3.2 Erweiterte multiagentenbasierte dynamische Disposition

Der Abschnitt 5.2 hat gezeigt, dass die Halbleiterfertigung durch die Notwendigkeit und den Einsatz von kritischen Rohstoffen gekennzeichnet ist. Dies erfordert die Identifikation von Einsparpotentialen für den Einsatz oder Substitu-

⁴¹² Vgl. hierzu Mönch et al. 2003; Mönch 2006a; Mönch 2006b; Mönch et al. 2006; Zimmermann 2008; Gupta et al. 2006 oder Frey et al. 2003.

tionsmöglichkeiten der kritischen Rohstoffe, um den Prozess der Halbleiterfertigung aus zeitlicher oder mengenmäßiger Sicht nicht zu gefährden.

Die Anwendung von Multiagentensystemen in der Halbleiterfertigung und die multiagentenbasierte Disposition des Produktionsprozesses wurde von *Mönch* wesentlich mitgestaltet und im Rahmen des FABMAS-Projektes realisiert.⁴¹³

Die genannten und festgestellten Aspekte in der Mikrochipindustrie deuten darauf hin, dass das erarbeitete und beschriebene Vorgehen für ein multiagentenbasiertes dynamisches Dispositionssystem in der Sekundärrohstofflogistik für die Halbleiterfertigung geeignet ist. Diese Erkenntnis führt zu dem Ansatz, die Lieferkette im Bereich der Halbleiterfertigung um den Aspekt der Rückführungslogistik zu erweitern beziehungsweise die Rückführung von Materialien sowie die Nutzung von Sekundärrohstoffen in den Produktionsprozess zu integrieren. Die Erweiterung der Grobarchitektur des FABMAS-Prototyps um das Modul der Rückführungslogistik stellt zum Beispiel eine Lösung für diesen Schritt dar.

In Abbildung 66 sind der Ansatz und die Erweiterung der Architektur exemplarisch dargestellt.

⁴¹³ Vgl. hierzu Abschnitt 5.3.1.

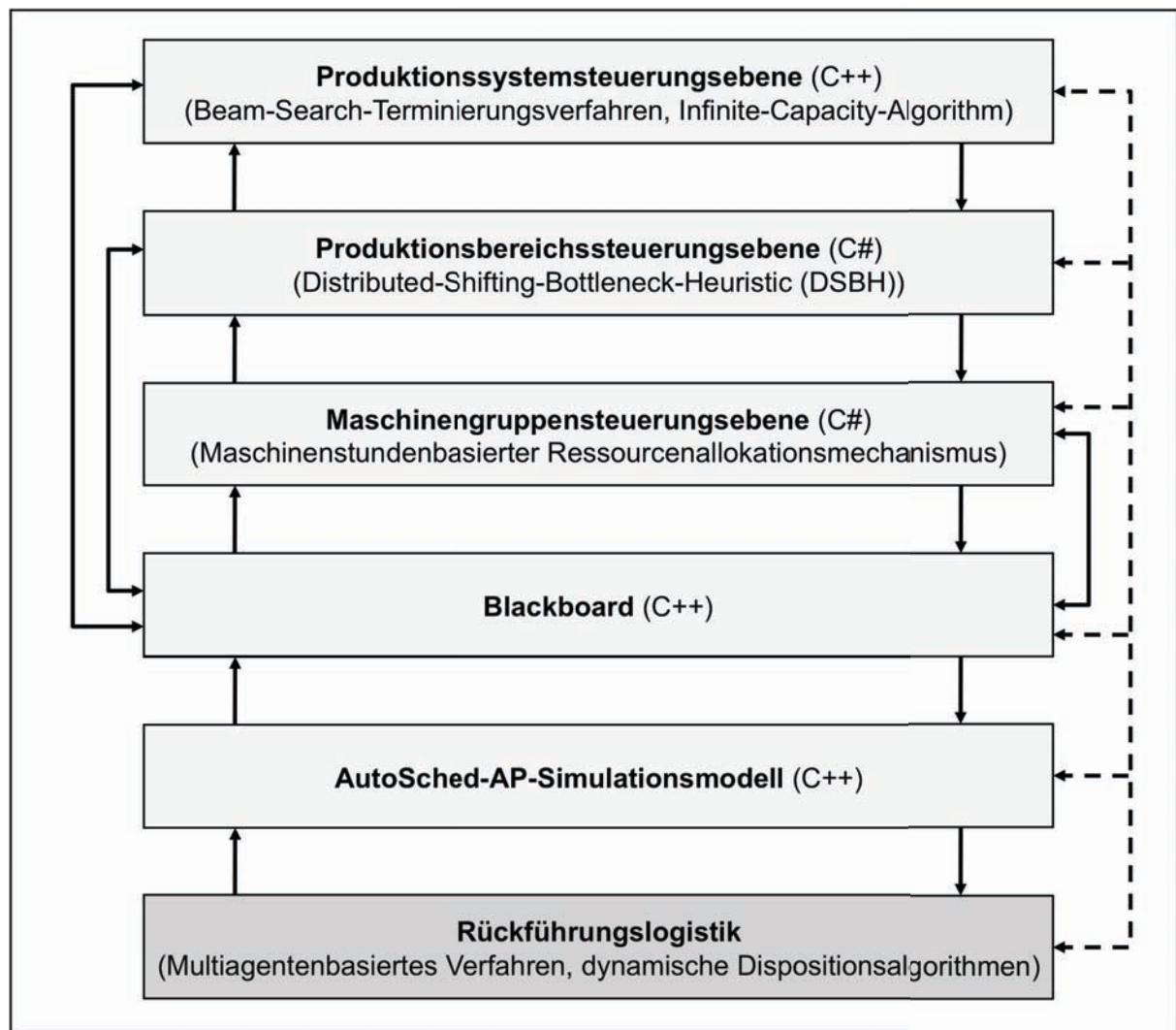


Abbildung 66: Erweiterte Grobarchitektur des FABMAS-Prototyps (Quelle: Erweiterte Darstellung in Anlehnung an Mönch 2006a, S. 216)

Die Erweiterung der Architektur ist damit verbunden, die Rückführungsprozesse und die Elemente der multiagentenbasierten Steuerung im Bereich der rückführenden Logistik, wie zum Beispiel die Rückführungsagenten oder die dynamischen Dispositionstechniken in das multiagentenbasierte System für die Halbleiterfertigung zu integrieren.

Diese Erweiterung des FABMAS-Prototyps stellt Fragen, ob dieser Ansatz funktioniert und praktisch umsetzbar ist. Die Voraussetzungen dafür sind die Erweiterbarkeit des Prototyps sowie die Integrations- und Kombinationsfähigkeit mit anderen Systemen. Da die Modifizier- und Änderbarkeit und damit auch die Anpassungsfähigkeit wichtige oder auch grundsätzliche Eigenschaften

ten eines MAS darstellen, wird vorausgesetzt, dass dieser Schritt durchführbar ist.⁴¹⁴

Der vorgeschlagene Ansatz und die Erweiterung der Architektur des FABMAS-Prototyps oder anderer existierender Modelle stellt eine Möglichkeit für die praktische Implementierung des multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems in der Sekundärrohstofflogistik dar. Neben einer theoretischen Bewertung kann dadurch die Einsatzfähigkeit des Systems beurteilt und die darin enthaltenen Strukturen und ablaufenden Prozesse evaluiert werden. Die wichtigste Erkenntnis dabei ist, dass das erarbeitete und beschriebene Vorgehen dieser Arbeit Relevanz für die Anwendung in der Praxis besitzt.

5.4 Zwischenfazit

Die Bewertung und Evaluierung ist wichtig für die Beurteilung der Einsatz-, Implementierungs- und Praxisfähigkeit eines Systems sowohl im theoretischen als auch im praktischen Kontext. Zu Beginn des Kapitels wurde bereits deutlich, dass für das vorgeschlagene System in dieser Arbeit kein vergleichbarer Entwurf im Bereich der rückführenden Logistik vorliegt. Ein sogenanntes Benchmarking mit einem ähnlichen Konstrukt zur Bewertung und Beurteilung von Verfahren oder Prozessen ist daher nicht möglich.

Für die Bewertung und Evaluierung wurde eine praktische Modellierung vorgeschlagen. Diese kann für die Übertragung und Umsetzung in die betriebliche Praxis genutzt werden. Am Beispiel der Mikrochipindustrie wurde das Vorgehen erörtert. Im Zusammenhang mit der Thematik dieser Arbeit wurden der Rohstoffbedarf und die Verwendung von MAS in der Mikrochipindustrie analysiert. Die Ergebnisse der Analysen haben zu der Erkenntnis geführt, dass zwischen den Bereichen der rückführenden Logistik und der Halbleiterfertigung Gemeinsamkeiten existieren, die den praktischen Einsatz des entworfenen Systems fördern.

⁴¹⁴ Vgl hierzu Abschnitt 4.7.1.

Im darauf folgenden Schritt wurde die praktische Übertragung und Umsetzung des entworfenen Systems in Form einer integrierten Erweiterung eines vorhandenen Modells für die Mikrochipindustrie behandelt. Dieser Vorgang hat Ansätze gezeigt, dass die Einsatz-, Implementierungs- und Praxisfähigkeit der erarbeiteten und beschriebenen Systematik möglich ist.

6 Schlussbetrachtung

6.1 Zusammenfassung

Die rückführende Logistik hat aufgrund der Rohstoffverknappung vor allem für die Rohstoff verarbeitenden Unternehmen an Bedeutung gewonnen. Die weltweit steigende Rohstoffnachfrage führt in Verbindung mit begrenzten Rohstoffvorkommen zu hohen Rohstoffpreisen. Um auf diese Entwicklung reagieren zu können, haben die Unternehmen die Möglichkeit, die für die Produktion notwendigen Rohstoffe durch Sekundärrohstoffe zu ersetzen. Die Schließung der Stoffkreisläufe rückt damit in den Vordergrund. In diesem Zusammenhang werden Altprodukte und Reststoffe, sogenannte Rückstände, in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Mit Hilfe geeigneter Aufarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse werden aus den Rückständen Sekundärrohstoffe gewonnen, welche im Anschluss für einen erneuten Produktionsprozess verwendet werden können. Das Vorgehen stellt einen geschlossenen Stoffkreislauf dar, das zunehmend in das politische und gesellschaftliche Interesse rückt.

Die methodische Herangehensweise in der Arbeit und die Herleitung des erarbeiteten und behandelten Vorgehens folgen einem Ablaufplan, der zunächst die grundlegenden Themen der Arbeit diskutiert, Problembereiche identifiziert, Vorschläge für deren Lösung präsentiert und die Anwendungs- und Einsatzfähigkeit der entwickelten Lösung begründet. Ausgehend von der Darstellung des Standes der Forschung in der Logistik wurde das Feld der Reverse Logistics und insbesondere die Sekundärrohstofflogistik betrachtet. Die dabei identifizierte zunehmende Verknappung der Rohstoffe und die daraus resultierende Rohstoffproblematik bildeten den Ausgangspunkt des Themas der Arbeit.

Die Verwendung hochwertiger Sekundärrohstoffe bietet neben der Suche nach alternativen Bezugsquellen oder einem wirkungsvolleren Energie- und Materialeinsatz eine Möglichkeit zur Reaktion. Für die Nutzung beziehungsweise die vorangehende Erzeugung von Sekundärrohstoffen ist die Sammlung und Redistribution von Rückständen erforderlich, denn diese bilden die Aus-

gangsbasis für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen und müssen aus dem Wirtschaftskreislauf in das System der Sekundärrohstofflogistik zurückgeführt werden. Die Sammlung und Redistribution ist mit Schwierigkeiten verbunden, die den Bereich der Sekundärrohstofflogistik wesentlich prägen. Die systemimmanenten Eigenschaften sind:

- fehlende Konstanz der Rückstandsströme,
- schwer prognostizierbare Rückstandsflüsse,
- zeitliche, mengen- und qualitätsmäßige Unsicherheit der Rückstandsarten.

Diese Eigenschaften beeinflussen das Gesamtsystem der Sekundärrohstofflogistik und stellen Herausforderungen für die Sekundärrohstoffproduktion dar.

Unsicherheiten oder auch plötzlich eintretende und unerwartete Ereignisse wie Maschinenstillstände oder Kapazitätsengpässe führen zu dynamischen Bedingungen, die das Produktionsgeschehen sowie die Planungs- und Steuerungsprozesse beeinflussen. Somit werden langfristige Produktions- und Dispositionspläne schnell unbrauchbar und müssen überarbeitet oder neu aufgestellt werden. Dies erfordert kurze und dynamische Produktions- und Dispositionszyklen, welche die Möglichkeit zur Nachdisposition eröffnen. Aus diesem Grund wurde für das System der Sekundärrohstofflogistik ein dynamisches Dispositionssystem mit dynamischen Dispositionstechniken vorgeschlagen, so dass eine Terminierung und Aufteilung von Ressourcen in unstetigen Umgebungen ermöglicht wird.

Eine Technik oder ein Instrument im Rahmen der dynamischen Disposition sind Multiagentensysteme. MAS sind durch ihre räumlich verteilte Struktur in der Lage, dezentrale Informationen aufzunehmen und reaktiv zu verarbeiten. Um den Aspekt der dynamischen Umgebungsbedingungen in der Sekundärrohstofflogistik weiterzuführen, wurde als Lösungsansatz die Integration von dynamischen Dispositionstechniken und -algorithmen in die Wissensbasis der Agenten vorgeschlagen. Dadurch kann der Beitrag für die Lösung der Problemstellung und die Effizienzsteigerung der Prozesse in der Sekundärroh-

stofflogistik erhöht und optimiert werden. Der Lösungsansatz wurde ausführend beschrieben.

In der Arbeit wurde eine systemanalytische Strukturierung der Prozesse der Rückführungslogistik mit verbundenen Teilsystemen entwickelt, die sich in dieser Form und Anwendung einsetzen und anwenden lassen. Für die Umsetzung wird eine flexible Vorgehensweise vorgeschlagen, die durch Prozesse von Menschen oder soweit verfügbar durch Softwareagenten ausgeführt wird.

Um die Praxisrelevanz des erarbeiteten und beschriebenen multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems nachzuweisen, wurde das Beispiel der Halbleiterfertigung identifiziert. In einem Vergleich mit den Prozessen, Umgebungsbedingungen und Rohstoffbedarfen der Reverse Logistics konnten Gemeinsamkeiten festgestellt werden. Es wurde die Anwendbarkeit von MAS in der Mikrochipindustrie abgeleitet. Die identifizierten Aspekte haben die Relevanz für die praktische Implementierung und den betrieblichen Einsatz des multiagentenbasierten dynamischen Dispositionssystems im Bereich der rückführenden Logistik am Beispiel der Halbleiterfertigung gezeigt.

Der Forschungsansatz dieser Arbeit liefert einen Beitrag für die industrielle Praxis. Er soll den Entscheidern und Verantwortlichen im Untersuchungsfeld der Reverse Logistics einen Handlungsrahmen geben. Die erarbeitete und beschriebene Systematik stellt für Rohstoff verarbeitenden Unternehmen eine Vorgehensweise zur Verfügung, mit der sie auf die Verknappung der Rohstoffe reagieren können. Die Arbeit zeigt, wie Prozesse optimiert und effizienter gestaltet werden können.

6.2 Grenzen der Arbeit und weiterer Forschungsbedarf

Der entwickelte Forschungsansatz beschreibt ein Modell, das in der rückführenden Logistik angewendet werden kann. Da das Forschungsfeld in der Literatur noch nicht umfassend untersucht worden ist, stehen für die Betrachtung der multiagentenbasierten Modellierung im Bereich der rückführenden Logistik bisher nur wenige Ergebnisse für eine weitere Detaillierung zur Verfügung.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in folgenden Bereichen:

- mathematische Modellierung des entwickelten Systems,
- Simulation in der Rückführungslogistik und Überprüfung der Wirksamkeit des Modells und der Dispositionsmethoden,
- Umsetzung und Übertragung in die betriebliche Praxis,
- Aufteilung der Prozesse zwischen Menschen und softwarebasierten Agenten,
- Evaluierung des Systems auf Einsatz-, Implementierungs- und Praxisfähigkeit,
- Weiterführung und -entwicklung von Dispositionsmethoden für den Bereich der rückführenden Logistik,
- Identifikation weiterer Lösungsmöglichkeiten für die Rohstoffverknappung,
- Identifikation alternativer Bezugsquellen für Rohstoffe,
- wirkungsvoller Energie- und Materialeinsatz.

7 Literatur

- Abumaizar, R. J.; Svestka, J. A. (1997): Rescheduling job shops under random disruptions. In: International Journal of Production Research. 1997, Volume 35, Issue 7, S. 2065-2082.
- Adam, D. (1998): Produktionsmanagement. Gabler, Wiesbaden.
- Adam, D. (1993): Flexible Fertigungssysteme. Gabler, Wiesbaden.
- Ahrens, V. (1998): Dezentrale Produktionsplanung und -steuerung – Systemtheoretische Grundlagen und Anwendungspotentiale. VDI, Düsseldorf.
- Albayrak, S.; Bussmann, S. (1993): Kommunikation und Verhandlungen in Mehragenten-Systemen. In: Müller, J. (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz – Methoden und Anwendungen. BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim et al., S. 55-81.
- Ameling, D. (2007): Nachtrag: Energiemangel – Rohstoffknappheit: Welche mittelfristigen Perspektiven hat die deutsche Wirtschaft? In: ifo Schnelldienst. 2007, Heft 6, S. 10-16.
- Andersen, B.; Fagerhaug, T.; Randmael, S.; Schuldmaier, J.; Prenninger, J. (1999): Benchmarking supply chain management: finding best practices. In: Journal of Business & Industrial Marketing. 1999, Volume 14, Issue 5-6, S. 378-389.
- Anderson, D. L.; Britt, F. E.; Favre, D. J. (2007): The Seven Principles of Supply Chain Management. In: Supply Chain Management Review. 2007, Volume 11, Issue 3, S. 41-46.
- Aras, N.; Boyaci, T.; Verter, V. (2004): The effect of categorizing returned products in remanufacturing. In: IIE Transactions. 2004, Volume 36, Issue 4, S. 319-331.
- Arndt, H. (2010): Supply Chain Management – Optimierung logistischer Prozesse. Gabler, Wiesbaden.
- Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.) (2008): Handbuch Logistik. Springer, Berlin, Heidelberg.

- Atherton, L. F.; Atherton, R. W. (1995): Wafer Fabrication: Factory Performance and Analysis. Kluwer, Boston.
- Austin, J. L. (1962): How to do things with words. Harvard University Press, Cambridge.
- Austin, J. L. (1985): Zur Theorie der Sprechakte. Reclam, Stuttgart.
- Axelsson, B. (1992): Network research – future issues. In: Axelsson, B.; Easton, G. (Hrsg.): Industrial Networks – A New View of Reality. Routledge, London, S. 237-251.
- Aytug, H.; Lawley, M. A.; McKay, K.; Mohan, S.; Uzsoy, R. (2005): Execution production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. In: European Journal of Operational Research. 2005, Volume 161, Issue 1, S. 86-110.
- Babiceanu, R. F.; Chen, F. F. (2006): Development and applications of holonic manufacturing systems: a survey. In: Journal of Intelligent Manufacturing. 2006, Volume 17, Issue 1, S. 111-131.
- Baccini, P.; Bader, H.-P. (1996): Regionaler Stoffhaushalt – Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum, Heidelberg et al.
- Balling, R. (1998): Kooperation – Strategische Allianzen, Netzwerke, Joint Ventures und andere Organisationsformen zwischenbetrieblicher Zusammenarbeit in Theorie und Praxis. Peter Lang, Frankfurt am Main.
- Ballou, R. H. (2006): The Evolution and Future of Logistics and Supply Chain Management. In: Produção. 2006, Volume 16, Issue 3, S. 375-386.
- Balsliemke, F. (2004): Logistiksysteme zur integrierten Distribution und Redistribution. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Bardt, H. (2006): Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Sekundärrohstoffen. In: IW-Trends. 2006, Heft 3, S. 1-15.
- Bauer, J. (2009): Produktionslogistik. In: Böge, A. (Hrsg.): Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, S. T 1-24.
- Baumgarten, H.; Buscher, R. (2003): Dienstleistungen in der Produktionslogistik. In: Baumgarten, H.; Wiendahl, H.-P.; Zentes, J. (Hrsg.): Logistik Ma-

-
- nagement – Strategien - Konzepte - Praxisbeispiele, Band 3. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1-10 (9.01.02).
- Baumgarten, H.; Walter, S. (2001): Trends und Strategien in der Logistik 2000+ – Eine Untersuchung der Logistik in Industrie, Handel, Logistik-Dienstleistung und anderen Dienstleistungsunternehmen. TU-Berlin, Berlin.
- Bean, J. C. (1994): Genetic Algorithms and Random Keys for Sequencing and Optimization. In: ORSA Journal on Computing. 1994, Volume 6, Issue 2, S. 154-160.
- Bean, J. C.; Birge, J. R.; Mittenthal, J.; Noon, C. E. (1991): Match up Sheduling with multiple resources release dates and disruptions. In: Journal of Operations Research. 1991, Volume 39, Issue 3, S. 471-483.
- Beck, T. C. (1998): Kosteneffiziente Netzwerkkooperation – Optimierung komplexer Partnerschaften zwischen Unternehmen. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Becker, T. (2004): Supply Chain Prozesse: Gestaltung und Optimierung. In: Busch, A.; Dangelmaier, W. (Hrsg.): Integriertes Supply Chain Management – Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Gabler, Wiesbaden, S. 65-89.
- Beckmann, H. (2004): Supply Chain Management: Grundlagen, Konzept und Strategien. In: Beckmann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management – Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1-97.
- Benkenstein, M. (1987): F&E und Marketing – Eine Untersuchung zur Leistungsfähigkeit von Koordinationskonzeptionen bei Innovationsentscheidungen. Gabler, Wiesbaden.
- Beschorner, K. (2002): Untersuchungen zur effizienten Kommunikation in komponentenbasierten Client-Server-Systemen. Logos, Berlin.
- Beullens, P. (2004): Reverse logistics in effective recovery of products from waste materials. In: Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2004, Volume 3, Issue 4, S. 283-306.
- Beyer, J.; Becher, F. (2008): Agentenbasiertes Scheduling und Rescheduling in Produktions-Transport-Netzwerken. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Fraunhofer, Stuttgart, S. 299-308.

- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2010): Bundesrepublik Deutschland: Rohstoffsituation 2009. BGR, Hannover.
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2008): Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen. BGR, Hannover.
- Biebeler, H.; Mahammadzadeh, M.; Selke, J.-W. (2008): Globaler Wandel aus Sicht der Wirtschaft – Chancen und Risiken, Forschungsbedarf und Innovationshemmnisse. Deutscher Instituts-Verlag, Köln.
- Biehl, M.; Prater, E.; Realff, M. J. (2007): Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems. In: Computers & Operations Research. 2007, Volume 34, Issue 2, S. 443- 463.
- Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K. (1994): Abfallwirtschaft – Eine Einführung. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Binder, C.; Bader, H.-P.; Scheidegger, R.; Baccini, P. (2001): Dynamic models for managing durables using a stratified approach: the case of Tunja, Colombia. In: Ecological Economics. 2001, Volume 38, Issue 2, S. 191-207.
- Bisnik, N.; Abouzeid, A. A. (2009): Queuing network models for delay analysis of multihop wireless ad hoc networks. In: Ad Hoc Networks. 2009, Volume 7, Issue 1, S. 79-97.
- Blackburn, J. D.; Guide Jr., V. D. R.; Souza, G. C.; Van Wassenhove, L. N. (2004): Reverse Supply Chains for Commercial Returns. In: California Management Review. 2004, Volume 46, Issue 2, S. 6-22.
- Blecker T.; Kaluza, B. (2004): Heterarchische Hierarchie: Ein Organisationsprinzip flexibler Produktionssysteme. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Organisation und Personal. TCW, München, S. 177-195.
- Blohm, H.; Beer, Th.; Seidenberg, U.; Silber H. (2008): Produktionswirtschaft. NWB, Herne.
- Bogaschewsky, R.; Kohler, K. (2010): Integrative Optimierung von globalen Supply Chains – Netzwerkdesign als logistikgeprägte Unternehmensführungsaufgabe. In: Schönberger, R.; Elbert, R. (Hrsg.): Dimensionen der Logistik – Funktionen, Institutionen und Handlungsebenen. Gabler, Wiesbaden, S. 1175-1191.

-
- Bolstorff, P. A.; Rosenbaum, R. G.; Poluha, R. G. (2007): Spitzenleistungen im Supply Chain Management – Ein Praxishandbuch zur Optimierung mit SCOR. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bönker, Th. (1999): Beitrag zum Produktrecycling – Entwicklung einer modularen Bewertungs- und Planungssystematik. Shaker, Aachen.
- Böse, F.; Windt, K.; Teucke, M. (2006): Modelling of Autonomously Controlled Logistic Processes in Production Systems. In: Proceedings of the 8th MITIP Conference. Budapest, S. 341-346.
- Brachman, R. J.; Levesque, H. J. (2004): Knowledge Representation and Reasoning. Elsevier/Morgan Kaufmann, Amsterdam et al.
- Brennan, R. W.; O, W. (2004): Performance analysis of a multi-agent scheduling and control system under manufacturing disturbances. In: Production Planning & Control. 2004, Volume 15, Issue 2, S. 225-235.
- Brenner, W.; Zarnekow, R.; Wittig, H. (1998): Intelligente Softwareagenten – Grundlagen und Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Brickley, J. A.; Smith, C. W.; Zimmermann, J. L. (2003): Designing Organizations to Create Value – From Strategy to Structure. McGraw-Hill, New York.
- Briskorn, D.; Drexl, A.; Hartmann, S. (2006): Inventory-based dispatching of automated guided vehicles on container terminals. In: OR Spectrum. 2006, Volume 28, Issue 4, S. 611-630.
- Britsch, K.; Schips, B. (1970): Eine einfache Einführung zu Pontrjagins Maximumprinzip im Wirtschaftswachstum – Einige Bemerkungen zu dem gleichnamigen Aufsatz von Bruno S. Frey. In: Review of World Economics. 1970, Volume 105, Issue 1, S. 179-187.
- Buchholz, P. (2008): Aktuelle Entwicklungen in der Rohstoffwirtschaft – Die Hochphase des Rohstoffsuperzyklus? In: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.): Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 2007. BGR, Hannover, S. 11-33.
- Butz, C.; Straube, F. (2008): Entstehung und Implementierung von Innovationen in der Produktionslogistik. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 67-84.

- Caglayan, A. K.; Harrison, C. G. (1998): *Intelligente Software-Agenten – Grundlagen, Technik und praktische Anwendung im Unternehmen*. Hanser, München, Wien.
- Catoni, O. (1992): Rough Large Deviation Estimates for Simulated Annealing: Application to Exponential Schedules. In: *The Annals of Probability*. 1992, Volume 20, Issue 3, S. 1109-1146.
- Cavalieri, S.; Garetti, M.; Macchi, M.; Taisch, M. (2000): An experimental benchmarking of two multi-agent architectures for production scheduling and control. In: *Computers in Industry*. 2000, Volume 43, Issue 2, S. 139-152.
- Chan, F. T. S.; Chan, H. K. (2001): Dynamic Scheduling for a Flexible Manufacturing System - The Pre-emptive Approach. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2001, Volume 17, Issue 10, S. 760-768.
- Chanintrakul, P; Mondragon, A. E. C.; Lalwani, C.; Wong, C. Y. (2009): Reverse logistics network design: a state-of-the-art literature review. In: *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*. 2009, Volume 1, Issue 1, S. 61-81.
- Chen, T. (2010): Intelligent scheduling approaches for a wafer fabrication factory. In: *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2010, Volume 21, Issue 4, S. 1-15.
- Chen, H.-K.; Chou, H.-W.; Chiu, Y.-C. (2007): On the modelling and solution algorithm for the reverse logistics recycling flow equilibrium problem. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2007, Volume 15, Issue 4, S. 218-234.
- Chen, Y.-Y.; Fu, L.-C.; Chen, Y.-C. (1998): Multi-Agent Based Dynamic Scheduling for a Flexible Assembly System. In: *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation*. Leuven, Belgium, S. 2122- 2127.
- Chou, Y.-C. (2007): Managing Dynamic Demand Events in Semiconductor Manufacturing Chains by Optimal Control Modelling. In: Wang, L.; Shen, W. (Hrsg.): *Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing*. Springer, London, S. 335-363.

-
- Chryssolouris, G.; Subramaniam, V. (2001): Dynamic sheduling of manufacturing job shops using genetic alghorithms. In: Journal of Intelligent Manufacturing. 2001, Volume 12, Issue 3, S. 281-293.
- Chung, H. (2004): CLM name change incorporates holistic view. In: Logistics Management. 2004, Volume 43, Issue 8, S. 18.
- Clausen, U.; Nikel, A. (2007): Ressourcenlogistik – Neue Chancen in Zeiten knapper Rohstoffe. In: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2007. free beratung GmbH, Korschenbroich, S. 24-27.
- Cockburn, D.; Jennings, N. R. (1996): Archon: A Distributed Artificial Intelligence System for Industrial Applications. In: O'Hare, G. M. P.; Jennings, N. R. (Hrsg.): Foundations of Distributed Artificial Intelligence. Wiley, New York, S. 319-344.
- Copeland, T.; Koller, T.; Murrin, J. (2002): Unternehmenswert – Methoden und Strategien für eine wertorientierte Unternehmensführung. Campus, Frankfurt am Main.
- Corsten, H. (2001): Unternehmungsnetzwerke – Formen unternehmungsübergreifender Zusammenarbeit. Oldenbourg, München.
- Corsten, H.; Gössinger, R. (1999): Multiagentensystemgestützte dezentrale Produktionsplanung und -steuerung – Untersuchung zur Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Allokationsmechanismen. In: Kirn, S.; Petsch, M. (Hrsg.): Workshop „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien. TU Ilmenau, Ilmenau, S. 143-150.
- Corsten, H.; Gössinger, R. (2009): Produktionswirtschaft – Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. Oldenbourg, München.
- Dangelmeier, W.; Pape, U.; Rüther, M. (2004): Agentensysteme für das Supply Chain Management – Grundlagen - Konzepte - Anwendungen. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Dangelmeier, W.; Gajewski, T.; Pape, U.; Rüther, M. (2002): Multi-Agenten-Systeme als Ansatz zur Verbesserung der Supply Chain. In: Wisu – Das Wirtschaftsstudium. 2002, Heft 4, S. 552-563.
- Davies, P. (2000): Survival of the fittest. In: The Computer Bulletin. 2000, Volume 42, Issue 5, S. 28-29.

- De Brito, M. P. (2004): Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management? Erasmus Research Institute of Management, Rotterdam.
- De Brito, M. P.; Dekker, R. (2004): A Framework for Reverse Logistics. In: Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1-27.
- De Brito, M. P.; Dekker, R.; Flapper, S. D. P. (2003): Reverse Logistics – a Review of Case Studies. ERIM Report Series Reference No. ERS-2003-012-LIS. Internetabruf am 13.10.2010, <http://ssrn.com/abstract=1098520>.
- Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (2004a): Quantitative Models for Reverse Logistics Decision Making. In: Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 29-41.
- Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.) (2004b): Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Delfmann, W. (1999): Industrielle Distributionslogistik. In: Weber, J.; Baumgarten H. (Hrsg.): Handbuch Logistik – Management von Material- und Warenflußprozessen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 181-201.
- Dittmann, L. U. (2007): OntoFMEA – Ontologiebasierte Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Domschke, W. (1997): Logistik: Rundreisen und Touren. Oldenbourg, München.
- Domschke, W. (2007): Logistik: Transport – Grundlagen, lineare Transport- und Umladeprobleme. Oldenbourg, München.
- Dorn, J.; Girsch, M.; Skele, G.; Slany, W. (1996): Comparison of iterative improvement techniques for schedule optimization. In: European Journal of Operational Research. 1996, Volume 94, Issue 2, S. 349-361.
- Doytchinov, B.; Lehoczky, J.; Shreve, S. (2001): Real-Time Queues in Heavy Traffic with Earliest-Deadline-First Queue Discipline. In: The Annals of Applied Probability. 2001, Volume 11, Issue 2, S. 332-378.

-
- Dümmmler, M.; Rose, O. (2000): Simulative Untersuchung des Einflusses von Produktmixänderungen in einer Halbleiterfertigung. In: Mertins, K.; Rabe, M. (Hrsg.): The New Simulation in Production and Logistics – Prospects, Views and Attitudes. IPK, Berlin, S. 501-502.
- Dutz, E. (1996): Die Logistik der Produktverwertung. Huss, München.
- Dyckhoff, H.; Souren, R.; Keilen, J. (2004): The Expansion of Supply Chains to Closed Loop Systems – A Conceptual Framework and the Automotive Industry's Point of View. In: Dyckhoff, H.; Lackes, R.; Reese, J. (Hrsg.): Supply Chain Management and Reverse Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 13-34.
- Ehrmann, H. (2005): Logistik – Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft. Kiehl, Ludwigshafen.
- Ensthaler, J.; Strübbe, K.; Bock, L. (2007): Zertifizierung und Akkreditierung technischer Produkte – Ein Handlungsleitfaden für Unternehmen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Faaland, B.; Schmitt, T. (1993): Cost-Based Scheduling of Workers and Equipment in a Fabrication and Assembly Shop. In: Operations Research. 1993, Volume 41, Issue 2, S. 253-268.
- Falk, J. (1995): Ein Multi-Agentensystem zur Transportplanung und -steuerung bei Speditionen mit Trampverkehr – Entwicklung und Vergleich mit zentralisierten Methoden und menschlichen Disponenten. Infix, Sankt Augustin.
- Fandel, G. (2005): Produktion I – Produktions- und Kostentheorie. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fandel, G.; Giese, A.; Raubenheimer, H. (2009): Supply Chain Management – Strategien - Planungsansätze - Controlling. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ferber, J. (2001): Multiagentensysteme – Eine Einführung in die Verteilte Künstliche Intelligenz. Addison-Wesley, München.
- Fernández, I. (2004): Reverse Logistics Implementation in Manufacturing Companies. Universitas Wasaensia, Vaasa.
- Ferrer, G.; Whybark, D. C. (2001): Material planning for a remanufacturing facility. In: Production and Operations Management. 2001, Volume 10, Issue 2, S. 112-124.

- Finin, T.; Labrou, Y.; Mayfield, J. (1997): KQML as an Agent Communication Language. In: Bradshaw, J. M. (Hrsg.): Software Agents. AAAI Press/MIT Press, Menlo Park et al., S. 291-316.
- FIPA-SC00001L (2002): FIPA Abstract Architecture Specification. Internetabruf am 03.05.11, <http://www.fipa.org/specs/fipa00001/SC00001L.pdf>.
- FIPA-SC00008I (2002): FIPA Content Language Specification. Internetabruf am 03.05.11, <http://www.fipa.org/specs/fipa00008/index.pdf>.
- FIPA-SC00037J (2002): FIPA Communicative Act Library Specification. Internetabruf am 03.05.11, <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.pdf>.
- FIPA-SC00061G (2002): FIPA Message Structure Specification. Internetabruf am 03.05.11, <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/index.pdf>.
- FIPA-XC00086D (2001): FIPA Ontology Service Specification. Internetabruf am 03.05.11, <http://www.fipa.org/specs/fipa00086/index.pdf>.
- Fischer, T. (2004): Multi-Agenten-Systeme im Fahrzeugumschlag – Agentenbasierte Planungsunterstützung für Seehafen-Automobilterminals. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Fischer, T.; Gehring, H. (2001): Ein Multi-Agenten-Ansatz zur Lösung des Fahrzeugumschlagproblems. In: Fleischmann, B.; Lasch, R.; Derigs, U.; Domschke, W.; Rieder, U. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 2000. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 401-406.
- Fischer, K.; Müller, J. P.; Pischel, M. (1995): A Model for Cooperative Transportation Scheduling. In: Lesser, V. (Hrsg.): Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent-Systems. AAAI Press/The MIT Press, Menlo Park et al., S. 109-116.
- Fisher, F. M.; Cootner, P. H.; Baily, M. N. (1972): An econometric model of the world copper industry. In: Bell Journal of Economics and Management Science. 1972, Volume 3, Issue 2, S. 568-609.
- Flapper, S. D. P.; Van Nunen, J. A. E. E.; Van Wassenhove, L. N. (2005): Introduction. In: Flapper, S. D. P.; Van Nunen, J. A. E. E.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Managing Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin Heidelberg, S. 3-18.
- Fleischmann, M. (2001): Quantitative Models for Reverse Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg.

-
- Fleischmann, M.; Bloemhof-Ruwaard, J. M.; Dekker, R.; Van der Laan, E.; Van Nunen, J. A. E. E.; Van Wassenhove, L. N. (1997): Quantitative models for reverse logistics: A review. In: *European Journal of Operational Research*. 1997, Volume 103, Issue 1, S. 1-17.
- Fleischmann, M.; Krikke, H. R.; Dekker, R.; Flapper, S. D. P. (2000): A characterisation of logistics networks for product recovery. In: *Omega*. 2000, Volume 28, Issue 6, S. 653-666.
- Fleischmann, M.; Bloemhof-Ruwaard, J. M.; Beullens, P.; Dekker, R. (2004): Reverse Logistics Network Design. In: Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): *Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 65-94.
- Fox, M. S.; Barbuceanu, M.; Teigen, R. (2000): Agent-Oriented Supply Chain Management. In: *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. 2000, Volume 12, Issue 2-3, S. 165-188.
- Franke, J.; Merhof, J.; Hopfensitz, S. (2010): Einsatz von dezentralen Multiagentensystemen – Komplexitätsbeherrschung bei der Produktionsplanung und -steuerung. In: *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. 2010, Heft 12, S. 1075-1078.
- Frederix, F. (1996): Planning and Scheduling Multi-Site Semiconductor Production Chains: A Survey of Needs, Current Practices and Integration Issues. In: Browne, J.; Mas, R. H.; Hlodversson, O. (Hrsg.): *IT and Manufacturing Partnerships – Delivering the Promise*. IOS Press, Amsterdam, S. 107-116.
- Frese, E. (1989): Koordinationskonzepte. In: Szyperski, N. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Planung*. Poeschel, Stuttgart, S. 913-923.
- Frey, B. S. (1969): Eine einfache Einführung zu Pontryagins Maximum-Prinzip im Wirtschaftswachstum. In: *Weltwirtschaftliches Archiv*. 1969, Band 103, Heft 1, S. 213-228.
- Frey, D.; Mönch, L.; Stockheim, T.; Woelk, P.-O.; Zimmermann, R. (2003): Agent.Enterprise – Integriertes Supply Chain Management mit hierarchisch vernetzten Multiagenten-Systemen. In: Dittrich, K.; König, W.; Oberweis, A.; Rannenber, K.; Wahlster, W. (Hrsg.): *Innovative Informatikanwendungen*. Köllen, Bonn, S. 47-63.

- Frey, D.; Nimis, J.; Wörn, H.; Lockemann, P. (2003): Benchmarking and robust multi-agent-based production planning and control. In: Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2003, Volume 16, Issue 4, S. 307-320.
- Frey, D.; Stockheim, T.; Woelk, P.-O.; Zimmermann, R. (2003): Integrated Multi-agent-based Supply Chain Management. In: Proceedings of the 12th Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, S. 24-29.
- Fricke, K. (2009): Urban Mining – nur eine Modebegriff? In: Müll und Abfall. 2009, Heft 10, S. 489.
- Frille, O. (1998): Potentiale von Netzwerken in der Kreislaufwirtschaft. In: Entsorgungspraxis. 1998, Heft 12, S. 16-20.
- Frille, O. (2001): Wettbewerbsorientierte Produktkreisläufe auf Basis des Nutzenverkaufs. dissertation.de, Berlin.
- Gafarov, E. R.; Lazarev, A. A.; Werner, F. (2010): Algorithms for Some Maximization Scheduling Problems on a Single Machine. In: Automation and Remote Control. 2010, Volume 71, Issue 10, S. 2070-2084.
- Genchev, S. E. (2009): Reverse logistics program design: A company study. In: Business Horizons. 2009, Volume 52, Issue 2, S. 139-148.
- Georgakarakou, C. E.; Economides, A. A. (2008): Software Agent Technology: An Overview. In: Protogeros, N. (Hrsg.): Agent and Web Service Technologies in Virtual Enterprises. Information Science Reference, Hershey, S. 1-24.
- Gerschwiler, K.; Jahns, P.; Klocke, F.; Lingg, G.; Lung, D.; Schlosser, R.; Werner, A. R.; Zeller, R. (2008): Ressourcenschonende Produktion. In: Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik – Aachener Perspektiven. Apprimus, Aachen, S. 81-124.
- Glover, F.; Laguna, M. (1997): Tabu search. Kluwer, Boston.
- Gnansounou, E.; Pierre, S.; Quintero, A.; Dong, J.; Lahlou, A. (2007): A multi-agent approach for planning activities in decentralized electricity markets. In: Knowledge-Based Systems. 2007, Volume 20, Issue 4, S. 406-418.
- Gobsch, B. (2007): Deterministische Losgrößenmodelle der Entsorgungslogistik und Reverse Logistics. Wissenschaftlicher Verlag Berlin, Berlin.

-
- Goh, T. N.; Varaprasad, N. (1986): A Statistical Methodology for the Analysis of the Life-Cycle of Reusable Containers. In: IIE Transactions. 1986, Volume 18, Issue 1, S. 42-47.
- Görz, G.; Wachsmuth, I. (2003): Einleitung. In: Görz, G.; Rollinger, C.-R.; Schneeberger, J. (Hrsg.): Handbuch der Künstlichen Intelligenz. Oldenbourg, München, S. 1-16.
- Gössinger, R. (2000): Opportunistische Koordinierung bei Werkstattfertigung – Ein Ansatz auf der Basis von Multiagentensystemen. Gabler, Wiesbaden.
- Gruber, T. R. (1993): A translation approach to portable ontology specifications. In: Knowledge Acquisition. 1993, Volume 5, Issue 2, S. 199-220.
- Gruber, T. R. (1995): Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In: International Journal of Human-Computer Studies. 1995, Volume 43, Issue 5-6, S. 907-928.
- Gudehus, T. (2005): Logistik – Grundlagen, Strategien, Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gudehus, T. (2006): Dynamische Disposition – Strategien zur optimalen Auftrags- und Bestandsdisposition. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gudehus, T. (2007): Dynamische Märkte – Praxis, Strategien und Nutzen für Wirtschaft und Gesellschaft. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gudehus, T.; Kotzab, H. (2009): Comprehensive Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Guide, V. D. R. (2000): Production planning and control für remanufacturing: industry practice and research needs. In: Journal of Operations Management. 2000, Volume 18, Issue 4, S. 467-483.
- Guide, V. D. R.; Kraus, M. E.; Srivastava, R. (1997): Scheduling policies for remanufacturing. In: International Journal of Production Economics. 1997, Volume 48, Issue 2, S. 187-204.
- Guide, V. D. R.; Srivastava, R. (1998): Inventory buffers in recoverable manufacturing. In: Journal of Operations Management. 1998, Volume 16, Issue 5, S. 551-568.
- Guide, V. D. R.; Van Wassenhove, L. N. (2002): Closed-Loop Supply Chains. In: Klose, A.; Sperenza, M. G.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Quantita-

-
- tive Approaches to Distribution Logistics and Supply Chain Management. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 47-60.
- Guide, V. D. R.; Van Wassenhove, L. N. (2003): Managing Product Returns for Remanufacturing. In: Business Aspects of Closed-Loop Supply Chains. Carnegie Mellon University Press, Pittsburgh, S. 355-379.
- Guide, V. D. R.; Van Wassenhove, L. N. (2009): The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. In: Operations Research. 2009, Volume 57, Issue 1, S. 10-18.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2007): Produktion und Logistik. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gupta, A. K.; Sivakumar, A. I. (2006): Job shop scheduling techniques in semiconductor manufacturing. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2006, Volume 27, Issue 11-12, S. 1163-1169.
- Gupta, J. N. D.; Ruiz, R.; Fowlers, J. W.; Mason, S. J. (2006): Operational planning and control of semiconductor wafer production. In: Production Planning & Control. 2006, Volume 17, Issue 7, S. 639-647.
- Haasis, H.-D.; Zimmermann, F.; Plöger, M. (2010): Unternehmensübergreifende Bestandsallokation mittels softwarebasierter Multiagenten-Systeme. In: Bogaschewsky, R.; Eßig, M.; Lasch, R.; Stölzle, W. (Hrsg.): Supply Management Research – Aktuelle Forschungsergebnisse 2010. Gabler, Wiesbaden, S. 263-276.
- Habenicht, I.; Mönch, L. (2002): A finite-capacity beam-search-algorithm for production scheduling in semiconductor manufacturing. In: Yücesan, E. (Hrsg.): Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. Association for Computing Machinery et al., New York et al., S. 1406-1413.
- Hajek, B. (1988): Cooling schedules for optimal annealing. In: Mathematics of Operations Research. 1988, Volume 13, Issue 2, S. 311-329.
- Hallmann, U. (2007): Next Generation Take Back Systems – Challenges and Responses. In: Proceedings on the 2nd International Conference ECO-X 2007: Sustainable Recycling Management & Recycling Network Centre. Wien, S. 149-154.
- Hammond, D.; Beullens, P. (2007): Closed-loop supply chain network equilibrium under legislation. European Journal of Operational Research. 2007, Volume 183, Issue 2, S. 895-908.

-
- Hegmanns, T. (2010): Dezentrales Planungs- und Prozesskonzept für ein kollaboratives Bedarfs- und Kapazitätsmanagement in Produktionsnetzwerken. Praxiswissen, Dortmund.
- Heiserich, O.-E. (2000): Logistik – Eine praxisorientierte Einführung. Gabler, Wiesbaden.
- Hellingrath, B.; Küppers, P. (2011): Multi-Agent Based Evaluation of Collaborative Planning Concepts in Heterarchical Supply Chains. In: Sucky, E.; Asdecker, B.; Dobhan, A.; Haas, S.; Wiese, J. (Hrsg.): Logistikmanagement – Herausforderungen, Chancen und Lösungen Band III. University of Bamberg Press, Bamberg, S. 1-22.
- Helsingier, A.; Lazarus, R.; Wright, W.; Zinky, J. (2003): Tools and Techniques for Performance Measurement of Large Distributed Multiagent Systems. In: Proceedings of the second international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems. New York, S. 843-850.
- Hennicke, P.; Kristof, K.; Dorner, U. (2009): Ressourcensicherheit und Ressourceneffizienz – Wege aus der Rohstoffkrise. Internetabruf am 04.10.2010, http://www.netzwerk-ressourceneffizienz.de/uploads/tx_wibeitrag/RE-Paper_7-3.pdf.
- Heragu, S. S.; Graves, R. J.; Kim, B.; St. Onge, A. (2002): Intelligent Agent Based Framework for Manufacturing Systems Control. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans. 2002, Volume 32, Issue 5, S. 560-573.
- Hering, E.; Steparsch, W.; Linder, M. (1997): Zertifizierung nach DIN EN ISO 9000 – Prozeßoptimierung und Steigerung der Wertschöpfung. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Herroelen, W.; Leus, R. (2005): Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. In: European Journal of Operational Research. 2005, Volume 165, Issue 2, S. 289-306.
- Heun, M. (2007): Finanzmarktsimulation mit Multiagentensystemen – Entwicklung eines methodischen Frameworks. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Hilmer, S. (2000): Objektorientierte Multiagenten-Systeme für die verteilte Produktionsplanung. Shaker, Aachen.

-
- Holland, J. P. (1992): Genetic Algorithms. In: Scientific American. 1992, Volume 267, Issue 1, S. 66-72.
- Homburg, C.; Koschate, N. (2007): Kundenzufriedenheit und Kundenbindung. In: Albers, S.; Herrmann, A. (Hrsg.): Handbuch Produktmanagement – Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle. Gabler, Wiesbaden, S. 843-867.
- Hülsmann, M.; Grapp, J. (2007): Nachhaltigkeit und Logistik-Management – Konzeptionelle Betrachtungen zu Kompatibilität - Komplexität - Widersprüchen - Selbststeuerung. In: Müller-Christ, G.; Arndt, L.; Ehnert, I. (Hrsg.): Nachhaltigkeit und Widersprüche – Eine Managementperspektive. LIT, Hamburg, S. 83-126.
- HWWI - Hamburgisches Weltwirtschaftsinstitut (2008): HWWI-Index der Weltmarktpreise für Rohstoffe. Internetabruf am 01.11.2010, http://hwwa.hwwi.net/typo3_upload/groups/32/hwwa_downloads/Rohstoffindex-tab.xls.pdf.
- Hynynen, J. E. (1989): Knowledge-Based Coordination in Distributed Production Management. In: Pau, L. F.; Motiwalla, J.; Pao, Y. H.; Teh, H. H. (Hrsg.): Expert Systems in Economics, Banking and Management. North-Holland, Amsterdam et al., S. 257-267.
- Ihde, G. B. (1972): Logistik – Physische Aspekte der Güterdistribution. Poeschel, Stuttgart.
- Ihde, G. B. (1999): Mikro- und Makrologistik. In: Weber, J.; Baumgarten H. (Hrsg.): Handbuch Logistik – Management von Material- und Warenflußprozessen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 115-128.
- Inderfurth, K. (2004): Product Recovery Behaviour in a Closed Loop Supply Chain. In: Dyckhoff, H.; Lackes, R.; Reese, J. (Hrsg.): Supply Chain Management and Reverse Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 91-113.
- Inderfurth, K. (2005a): Impact of uncertainties on recovery behavior in a re-manufacturing environment – A numerical analysis. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2005, Volume 35, Issue 5, S. 318-336.
- Inderfurth, K. (2005b): Stochastische Bestandsdisposition in integrierten Produktions- und Recyclingsystemen. In: ZfB – Zeitschrift für Betriebswirtschaft. 2005, Special Issue 4, S. 29-56.

-
- Inderfurth, K.; Flapper, S. D. P.; Lambert, A. J. D.; Pappis, C. P.; Voutsinas, T. G. (2004): Production Planning for Product Recovery Management. In: Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 249-274.
- Ingber, L.; Rosen, B. (1992): Genetic Algorithms and Very Fast Simulated Reannealing: A Comparison. In: Mathematical and Computer Modelling. 1992, Volume 16, Issue 11, S. 87-100.
- Ivisic, R.-A. (2002): Management kreislauforientierter Entsorgungskonzepte – Erfolgsfaktoren und Gestaltungsinstrumente. Haupt, Bern et al.
- Jackson, P.; Ashton, D. (1996): ISO 9000 – Der Weg zur Zertifizierung. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech.
- Jennings, N. R.; Norman, T. J.; Faratin, P. (1998): ADEPT: An Agent-Based Approach to Business Process Management. In: ACM SIGMOD Record. 1998, Volume 27, Issue 4, S. 32-39.
- Jetzke, S. (2007): Grundlagen der modernen Logistik – Methoden und Lösungen. Hanser, München.
- Jiao, J.; You, X.; Kumar, A. (2006): An Agent-Based Collaborative Negotiation System for Global Manufacturing Supply Chain Management. In: Lan, Y.-C.; Unhelkar, B. (Hrsg.): Global Integrated Supply Chain Systems. Idea, Hershey, S. 243-271.
- Johansson, O. M. (2006): The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. In: Waste Management. 2006, Volume 26, Issue 8, S. 875-885.
- Jünemann, R. (1989): Materialfluß und Logistik – Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jung, H.; Jeong, B. (2005): Decentralised production-distribution planning system using collaborative agents in supply chain network. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2005, Volume 25, Issue 1-2, S. 167-173.
- Junzhou, L.; Bo, L.; Wei, L. (2007): Dynamic Scheduling of Multi-Agent in Agent-Based Distributed Network Management. In: Lin, H. (Hrsg.): Architectural Design of Multi-Agent Systems: Technologies and Techniques. Information Science Reference, Hershey, S. 125-142.

- Kaczmarek, M.; Sonnek, A.; Stüllenber, F. (2004): Das Management von Unternehmensnetzwerken – Aufgabenfelder und instrumentelle Unterstützung. In: Gericke, J.; Kaczmarek, M.; Neweling, S.; Schulze im Hove, A.; Sonnek, A.; Stüllenber, F. (Hrsg.): Management von Unternehmensnetzwerken – Beiträge aus Forschung und Praxis. Dr. Kovac, Hamburg, S. 1-24.
- Kahlmeyer, S.; Liebert, J. O. (2004): Erfolgreiches Supply Chain Management bei der Siemens AG. In: Beckmann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management – Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 183-202.
- Kaighobadi, M.; Venkatesh, K. (1994): Flexible Manufacturing Systems: An Overview. In: International Journal of Operations & Production Management. 1994, Volume 14, Issue 4, S. 26-49.
- Karabuk, S.; Wu, S. D. (2002): Decentralizing semiconductor capacity planning via internal market coordination. In: IIE Transactions. 2002, Volume 34, Issue 9, S. 743-759.
- Karavezyris, V. (2001): Prognose von Siedlungsabfällen – Untersuchungen zu determinierenden Faktoren und methodischen Ansätzen. Rhombos, Berlin.
- Kelle, P.; Silver, E. A. (1989): Forecasting the Returns of Reusable Containers. In: Journal of Operations Management. 1989, Volume 8, Issue 1, S. 17-35.
- Kempf, K. G. (1994): Intelligently Scheduling Semiconductor Wafer Fabrication. In: Zweben, M.; Fox, M. S. (Hrsg.): Intelligent Scheduling. Morgan Kaufmann, San Francisco, S. 517-544.
- Kempter, B.; Reiser, H.; Rölle, H.; Vogt, G. (2001): Implementierung eines MASIF konformen Agentensystems – Die Mobile Agent System Architecture (MASA). In: PIK – Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation. 2001, Heft 3, S. 141-148.
- Kern, W. (1992): Industrielle Produktionswirtschaft. Poeschel, Stuttgart.
- Kerr, R. M.; Szelke, E. (1995): Artificial intelligence in Reactive Scheduling. Chapman & Hall, London.
- Kiesmüller, G. P.; Minner, S.; Kleber, R. (2004): Managing Dynamic Product Recovery: An Optimal Control Perspective. In: Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Reverse Logistics –

-
- Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 221-247.
- Kirchhoff, J. K. (1997): Die leistungswirtschaftliche Beurteilung von Konzepten der Entsorgungslogistik. Peter Lang, Frankfurt am Main.
- Kirn, S.; Heine, C.; Petsch, M.; Puppe, F.; Klügl, F.; Herrler, R. (2001): Partiiell-globales Scheduling von Logistikprozessen: Modell und Optimierungsstrategien für ein Multiagentensimulationssystem in der akut-stationären Versorgung. In: Proceedings des 4. Kolloquiums des DFG-Schwerpunktprogrammes Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien, Bonn, S. 1-13.
- Kirn, S. (2002): Kooperierende intelligente Softwareagenten. In: Wirtschaftsinformatik. 2002, Heft 1, S. 53-63.
- Kirsch, W. (1971): Betriebswirtschaftliche Logistik. In: ZfB – Zeitschrift für Betriebswirtschaft. 1971, Heft 4, S. 221-234.
- Kirsch, W.; Meffert, H. (1970): Organisationstheorien und Betriebswirtschaftslehre. Gabler, Wiesbaden.
- Kleber, R. (2006): Dynamic Inventory Management in Reverse Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kleijn, R.; Huele, R.; van der Voet, E. (2000): Dynamic substance flow analysis: the delaying mechanism of stocks, with the case of PVC in Sweden. In: Ecological Economics. 2000, Volume 32, Issue 2, S. 241-254.
- Klingelhöfer, H. E. (2006): Finanzwirtschaftliche Bewertung von Umweltschutzinvestitionen. Gabler, Wiesbaden.
- Klügl, F. (2001): Multiagentensimulation – Konzepte, Werkzeuge, Anwendungen. Addison-Wesley, München.
- Kohler, N.; Hassler, U.; Paschen, H. (1999): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Studie im Auftrag der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kopicki, R.; Berg, M. J.; Legg, L. (1993): Reuse and Recycling – Reverse Logistics Opportunities. Council of Logistics Management, Oak Brook.

- Kopp, R. J.; Smith, V. K. (1980): Measuring factor substitution with neoclassical models: an experimental evaluation. In: Bell Journal of Economics and Management Science. 1980, Volume 11, Issue 2, S. 631-655.
- Kortus-Schultes, D.; Ferfer, U. (2005): Logistik und Marketing in der Supply Chain – Wertsteigerung durch virtuelle Geschäftsmodelle. Gabler, Wiesbaden.
- Kovalchuk, Y. (2009): A Multi-Agent Decision Support System for Supply Chain Management. Doctoral Thesis, University of Essex. Internetabruf am 11.02.2011, privatewww.essex.ac.uk/~yvкова/Papers/thesisYKovalchuk.pdf.
- Krampe, H.; Lucke, H.-J. (1993): Grundlagen der Logistik – Einführung in Theorie und Praxis. Huss, München.
- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163) geändert worden ist. Internetabruf am 26.10.2010, http://bundesrecht.juris.de/krw-_abfg/.
- Krempels, K.-H. (2009): Agentenbasierte Ablaufplanung – unter besonderer Betrachtung der präferenzbasierten Diensteseinsatzplanung. Shaker, Aachen.
- Krothapalli, N. K. C.; Deshmukh, A. V. (1999): Design of negotiation protocols for multi-agent manufacturing systems. In: International Journal of Production Research. 1999, Volume 37, Issue 7, S. 1601-1624.
- Krumwiede, D. W.; Sheu, C. (2002): A model for reverse logistics entry by third-party providers. In: Omega. 2002, Volume 30, Issue 5, S. 325-333.
- Kuhn, A.; Hellingrath, H. (2002): Supply Chain Management – Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kuhn, A.; Wolf, P.; Bandow, G. (1992): Qualitätsmanagement im logistischen Informationssystem. In: Pfohl, H. C. (Hrsg.): Total Quality Management in der Logistik. Schmidt, Berlin, S. 141-182.
- Kumar, M.; Rajotia, S. (2006): Cost based scheduling in a job shop environment. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2006, Volume 30, Issue 11-12, S. 1144-1153.

-
- Kumar, V.; Goel, A. K.; Srinivisan, S. (2008): A Multiagent Conceptualization for Supply Chain Management. In: Ubiquitous Computing and Communication Journal. 2008, Volume 3, Issue 4, S. 1-5.
- Laarmann, A. (2005): Lerneffekte in der Produktion. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Labrou, Y; Finin, T. (1997): Comments on the specification for FIPA '97 Agent Communication Language. University of Maryland, Baltimore.
- Lakemeyer, G.; Nebel, B. (1994): Foundations of Knowledge Representation and Reasoning. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lambert, D. M.; Stock, J. R. (1982): Strategic Physical Distribution Management. Irwin, Homewood.
- Lambrecht, M. R.; Ivens, P. L.; Vandaele, N. J. (1998): ACLIPS: A Capacity and Lead Time Integrated Procedure for Scheduling. In: Management Science. 1998, Volume 44, Issue 11 Part 1 of 2, S. 1548-1561.
- Lämmel, U.; Cleve, J. (2008): Künstliche Intelligenz. Hanser, München.
- Lasch, R.; Lemke, A.; Schindler, T. (2006): Der Beitrag der Logistik zur wertorientierten Unternehmensführung. In: Schweickart, N.; Töpfer, A. (Hrsg.): Wertorientiertes Management – Werterhaltung - Wertsteuerung - Wertsteigerung ganzheitlich gestalten. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 279-299.
- Lattwein, J. (2002): Wertorientierte strategische Steuerung – Ganzheitlich-integrativer Ansatz zur Implementierung. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Lau, J. S. K.; Huang, G. Q.; Mak, K. L.; Liang, L. (2006): Agent-Based Modeling of Supply Chains for Distributed Scheduling. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans. 2006, Volume 36, Issue 5, S. 847-861.
- Lebreton, B. (2007): Strategic Closed-Loop Supply Chain Management. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lee, C.-Y.; Uzsoy, R.; Martin-Vega, L. A. (1992): Efficient Algorithms for Scheduling Semiconductor Burn-in Operations. In: Operations Research. 1992, Volume 40, Issue 4, S. 764-775.

- Lee, J.-H.; Kim, C.-O. (2008): Multi-agent systems applications in manufacturing systems and supply chain management: a review paper. In: International Journal of Production Research. 2008, Volume 46, Issue 1, S. 233-265.
- Leontief, W. J.; Koo, J. C. M.; Nasar, S.; Sohn, I. (1983): The Future of Non-Fuel Minerals in the U.S. and World Economy. Lexington Books, Lexington.
- Lieske, O. (2005): Fertigungssteuerung mit Multiagentensystemen bei kundenauftragsorientierter Fertigung. VDI, Düsseldorf.
- Lim, M. K.; Zhang, Z. (2003): A multi-agent based manufacturing control strategy for responsive manufacturing. In: Journal of Materials Processing Technology. 2003, Volume 139, Issue 1-3, S. 379-384.
- Lubin, D. A.; Esty, D. C. (2010): Megatrend Nachhaltigkeit. In: Harvard Business Manager. 2010, Heft 7, S. 74-85.
- Luck, M.; McBurney, P.; Preist, C. (2003): Agent Technology: Enabling Next Generation Computing – A Roadmap for Agent Based Computing. AgentLink, Southampton.
- Malkwitz, A.; Vathauer, M.; Liendenau, V. (2009): Schrott – reif für Recycling. ATKearney, Internetabruf am 01.11.12, http://www.atkearney.de/content/misc/wrapper.php/id/50833/name/pdf_eb_24_recycling_secure_125362847268e4.pdf.
- Malone, T. W.; Crowston, K.; Lee, J.; Pentland, B.; Dellarocas, C.; Wyner, G.; Quimby, J.; Osborn, C. S.; Bernstein, A.; Herman, G.; Klein, M.; O'Donnell, E. (1999): Tools for Inventing Organizations: Toward a Handbook of Organizational Processes. In: Management Science. 1999, Volume 45, Issue 3, S. 425-443.
- Marquez, A. C.; Gupta, J. N. D.; Ignizio, J. P. (2006): Improving preventive maintenance scheduling in semiconductor fabrication facilities. In: Production Planning & Control. 2006, Volume 17, Issue 7, S. 742-754.
- Masters, R. (2004): Survival of the fittest. In: Harvard International Review. 2004, Volume 26, Issue 2, S. 82-83.
- Maturana, F. P.; Tichy, P.; Slechta, P.; Discenzo, F.; Staron, R. J.; Hall, K. (2004): Distributed multi-agent architecture for automation systems. In: Expert Systems with Applications. 2004, Volume 26, Issue 1, S. 49-56.

-
- Martens, H. (2007): Planung und Steuerung von Produktion und Recycling in kreislaufwirtschaftlich ausgeprägten Unternehmensnetzwerken – Ein Supply Chain Management orientierter Ansatz. Dr. Kovac, Hamburg.
- Matthies, K. (2007): Konjunkturschlaglicht: Rohstoffpreise bleiben hoch. In: Wirtschaftsdienst. 2007, Heft 4, S. 264-265.
- Maturana, F.; Shen, W.; Norrie, D. H. (1999): MetaMorph: an adaptive agent-based architecture for intelligent manufacturing. In: International Journal of Production Research. 1999, Volume 37, Issue 10, S. 2159-2173.
- McKay, K. N.; Wiers, V. C. S. (1999): Unifying the Theory and Practice of Production Scheduling. In: Journal of Manufacturing Systems. 1999, Volume 18, Issue 4, S. 241-255.
- Mehta, S. V.; Uzsoy, R. (1999): Predictable scheduling of a single machine subject to breakdowns. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 1999, Volume 12, Issue 1, S. 15-38.
- Meier, H. W. (1985): Methoden und Werkzeuge zur Sollentwicklung EDV-gestützter Dispositionssysteme. Europäische Hochschulschriften, Frankfurt am Main.
- Meyer, C. A. (2007): Working Capital und Unternehmenswert – Eine Analyse zum Management der Forderungen und Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Mieke, C. (2010): Grüne Logistik. In: WISU – Das Wirtschaftsstudium. 2010, Heft 3, S. 344-347.
- Miles, R. E.; Snow, C. C. (1986): Organizations: New Concepts for New Forms. In: California Management Review. 1986, Volume 28, Issue 3, S. 62-73.
- Minner, S.; Lindner, G. (2004): Lot Sizing Decisions in Product Recovery Management. In: Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 157-179.
- Mitkas, P. A.; Nikolaidou, P. (2008): Agents and Multi-Agent Systems in Supply Chain Management: An Overview. In: Protogeros, N. (Hrsg.): Agent and Web Service Technologies in Virtual Enterprises. Information Science Reference, Hershey, S. 223-243.

- Mocker, M.; Fricke, K.; Löh, I.; Franke, M.; Bahr, T.; Münnich, K.; Faulstich, M. (2009): Urban Mining – Rohstoffe der Zukunft. In: Müll und Abfall. 2009, Heft 10, S. 492-501.
- Mönch, L. (2001a): Analyse und Design für ein agentenbasiertes System zur Steuerung von Produktionsprozessen in der Halbleiterindustrie. In: Jablonski, S.; Kirn, S.; Plaha, M.; Sinz, E. J.; Ulbrich-vom Ende, A.; Weiß, G. (Hrsg.): Verteilte Informationssysteme auf der Grundlage von Objekten, Komponenten und Agenten. Rundbrief der GI-Fachgruppe, Bamberg, S. 99-112.
- Mönch, L. (2001b): Towards an Agent-Based Production Control in the Semiconductor Industry. In: Giambiasi, N.; Frydman, C. (Hrsg.): Simulation in Industry. SCS, Ghent, S. 941-945.
- Mönch, L. (2006a): Agentenbasierte Produktionssteuerung komplexer Produktionssysteme. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Mönch, L. (2006b): Autonome und kooperative Steuerung komplexer Produktionsprozesse mit Multi-Agenten-Systemen. In: Wirtschaftsinformatik. 2006, Heft 2, S. 107-119.
- Mönch, L.; Fowler, J. W.; Dauzere-Peres, S.; Mason, S. J.; Rose, O. (2009): Scheduling Semiconductor Manufacturing Operations: Problems, Solution Techniques, and Future Challenges. In: Proceedings of the 2009 Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications. Dublin, S. 192-201.
- Mönch, L.; Stehli, M. (2003): An Ontology for Production Control of Semiconductor Manufacturing Processes. In: Schillo, M.; Klusch, M.; Müller, J.; Tianfield, H. (Hrsg.): Multiagent System Technologies. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 156-167.
- Mönch, L.; Stehli, M. (2004): A Content Language for a Hierarchically Organized Multi-Agent-System for Production Control. In: Bichler, M.; Holtmann, C.; Kirn, S.; Müller, J. P.; Weinhardt, C. (Hrsg.): Coordination and Agent Technology in Value Networks. GITO, Berlin, S. 197-212.
- Mönch, L.; Stehli, M.; Zimmermann, J. (2003): FABMAS: An Agent-Based System for Production Control of Semiconductor Manufacturing Processes. In: Marik, V.; McFarlane, D.; Valckenaers, P. (Hrsg.): Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 258-267.

-
- Mönch, L.; Stehli, M.; Zimmermann, J.; Habenicht, I. (2006): The FABMAS multi-agent-system prototype for production control of wafer fabs: design, implementation and performance assessment. In: *Production Planning & Control*. 2006, Volume 17, Issue 7, S. 701-716.
- Morana, R. (2006): *Management von Closed-Loop Supply Chains – Analyse-rahmen und Fallstudien aus dem Textilbereich*. Gabler, Wiesbaden.
- Morgenstern, O. (1955): Note on the Formulation of the Theory of logistics. In: *Naval Research Logistics Quarterly*. 1955, Volume 2, Issue 3, S. 129-136.
- Moyaux, T.; Chaib-draa, B.; D'Amours, S. (2006): Supply Chain Management and Multiagent Systems: An Overview. In: Chaib-draa, B.; Müller, J. P. (Hrsg.): *Multiagent based Supply Chain Management*. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1-27.
- Müller, D. B. (2006): Stock dynamics for forecasting material flows – Case study for housing in The Netherlands. In: *Ecological Economics*. 2006, Volume 59, Issue 1, S. 142-156.
- Müller, H. J. (1993): Einführung. In: Müller, J. (Hrsg.): *Verteilte Künstliche Intelligenz – Methoden und Anwendungen*. BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim et al., S. 9-21.
- Müller, J. P. (1996): *The Design of Intelligent Agents – A Layered Approach*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Müller, J. P.; Pischel, M.; Thiel, M. (1995): Modelling Reactive Behaviour in Vertically Layered Agent Architecture. In: Wooldridge, M.; Jennings, N. R. (Hrsg.): *Intelligent Agents*. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 261-276.
- Murch, R.; Johnson, T. (2000): *Agententechnologie: Die Einführung – Intelligente Software-Agenten auf Informationssuche im Internet*. Addison-Wesley, München.
- Nagurney, A.; Toyasaki, F. (2005): Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling. In: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2005, Volume 41, Issue 1, S. 1-28.
- National Research Council (2008): *Minerals, critical minerals, and the U.S. economy*. National Academies Press, Washington.
- Nebl, T. (2004): *Produktionswirtschaft*. Oldenbourg, München.

- Norman, T. J.; Jennings, N. R.; Faratin, P.; Mamdani, E. H. (1997): Designing and Implementing a Multi-Agent Architecture for Business Process Management. In: Müller, J. P.; Wooldridge, M.; Jennings, N. R. (Hrsg.): Intelligent Agents III – Agent Theories, Architectures, and Languages. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 261-275.
- O'Brien, P. D.; Nicol, R. C. (1998): FIPA – towards a standard for software agents. In: BT Technology Journal. 1998, Volume 16, Issue 3, S. 51-59.
- O'Donovan, R.; Uzsoy, R.; McKay, K. (1999): Predictable scheduling of a single machine with breakdowns and sensitive jobs. In: International Journal of Production Research. 1999, Volume 37, Issue 18, S. 4217-4233.
- O'Neill, J. (2001): Building better global economic BRICs. Goldman Sachs, New York.
- Obitko, M.; Marik, V. (2002): Ontologies for Multi-Agent Systems in Manufacturing Domain. In: Proceedings of the 13th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. Aix-en-Provence, S. 597-602.
- Oechslein, C. (2004): Vorgehensmodell mit integrierter Spezifikations- und Implementierungssprache für Multiagentensimulationen. Shaker, Aachen.
- Okubo, H.; Jiahua, W.; Onari, H. (2000): Characteristics of distributed autonomous production control. In: International Journal of Production Research. 2000, Volume 38, Issue 17, S. 4205-4215.
- Oleskow, J.; Fertsch, M.; Golinska, P. (2005): The New Perspective of Supply Chain Integration through Agent-Based Systems. In: Filho, L.; Gomez, M.; Rautenstrauch, C. (Hrsg.): ITEE 2005 – Second International ICSC Symposium on Information Technologies in Environmental Engineering. Shaker. Aachen, S. 238-252
- Oliva, R.; Watson, N. (2009): Managing Functional Biases in Organizational Forecasts: A Case Study of Consensus Forecasting in Supply Chain Planning. In: Production and Operations Management. 2009, Volume 18, Issue 2, S. 138-151.
- Oliveira, E. (1994): Cooperative Multi-Agent System for an Assembly Robotics Cell. In: Robotics & Computer-Integrated Manufacturing. 1994, Volume 11, Issue 4, S. 311-317.

-
- Ou, J.; Wein, L. M. (1995): Dynamic Scheduling of a Production/Inventory System with By-Products and Random Yield. In: *Management Science*. 1995, Volume 41, Issue 6, S. 1000-1017.
- Ouelhadj, D.; Cowling, P. I.; Petrovic, S. (2003): Contract Net Protocol for Cooperative Optimisation and Dynamic Scheduling of Steel Production. In: Abraham, A.; Franke, K.; Köppen, M. (Hrsg.): *Intelligent Systems Design and Applications*. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 469-478.
- Ouelhadj, D.; Petrovic, S. (2009): A survey of dynamic scheduling in manufacturing systems. In: *Journal of Scheduling*. 2009, Volume 12, Issue 4, S. 417-431.
- Ovacik, I. M.; Wenig, W. (1995): A Framework for Supply Chain Management in the Semiconductor Manufacturing Industry. In: *Proceedings of the IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium*. Austin, S. 47-50.
- Ow, P. S.; Smith, S. F.; Howie, R. (1988): A Cooperative Scheduling System. In: Oliff, M. D. (Hrsg.): *Expert Systems and Intelligent Manufacturing – Proceedings of the Second International Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Planning and Control*. North-Holland, New York et al., S. 43-56.
- Pan, H.; Ngoh, L. H.; Lazar, A. A. (1998): A buffer-inventory-based dynamic scheduling algorithm for multimedia-on-demand servers. In: *Multimedia Systems*. 1998, Volume 6, Issue 2, S. 125-136.
- Parunak, H. V. D. (1987): Manufacturing Experience with the Contract Net. In: Huhns, M. N. (Hrsg.): *Distributed Artificial Intelligence*. Pitman, London, S. 285-310.
- Parunak, H. V. D. (1996): Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry. In: O'Hare, G. M. P.; Jennings, N. R. (Hrsg.): *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. Wiley, New York, S. 139-164.
- Paulussen, T. O.; Herrler, R.; Hoffmann, A.; Heine, C.; Becker, M.; Franck, M.; Reinke, T.; Strasser, M. (2003): Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien im Gesundheitswesen. In: Dittich, R. K.; König, W.; Oberweis, A.; Rannenber, K.; Wahlster, W.; (Hrsg.): *Innovative Informatikanwendungen*. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 64-82.

- Peha, J. M.; Tobagi, F. A. (1996): Cost-Based Scheduling and Dropping Algorithms to Support Integrated Services. In: IEEE Transactions on Communications. 1996, Volume 44, Issue 2, S. 192-202.
- Pehlken, A. (2010): Ressourcenplanung fester Abfallstoffe mit Hilfe der Prozessmodellierung als Beitrag zum nachhaltigen Ressourcenmanagement. In: Müll und Abfall. 2010, Heft 10, S. 482-487.
- Petersen, S. A. (2003): An Agent-based Evaluation Framework for Supporting Virtual Enterprise Formation. In: Proceedings of the Twelfth International Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises. Washington, S. 159-164.
- Petsch, M. (2001): Aktuelle Entwicklungsumgebungen für mobile Agenten und Multiagentensysteme. In: Wirtschaftsinformatik. 2001, Heft 2, S. 166-174.
- Petzschmann, E. (1987): Recycling – der Umwelt zuliebe. In: Bau-Markt. 1987, Heft 5, S. 202-206.
- Pham, D. T.; Karaboga, D. (2000): Intelligent optimisation techniques: genetic algorithms, tabu search, simulated annealing and neural networks. Springer, London.
- Pichler, J.; Plösch, R.; Weinreich, R. (2002): MASIF und FIPA: Standards für Agenten – Übersicht und Anwendung. In: Informatik-Spektrum. 2002, Heft 2, S. 91-100.
- Pinedo, M. L. (2009): Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. Springer, New York.
- Pfohl, H.-C. (1970): Marketing-Logistik – Ohne richtige Organisation kein Erfolg. In: Marketing Journal. 1970, Volume 3, Issue 4, S. 256-258.
- Pfohl, H.-C. (1972): Marketing-Logistik – Gestaltung, Steuerung und Kontrolle des Warenflusses im modernen Markt. Distribution-Verlag, Mainz.
- Pfohl, H.-C. (2004): Logistikmanagement – Konzeption und Funktionen. Springer, Berlin et al.
- Pfohl, H.-C. (2010): Logistiksysteme – Betriebswirtschaftliche Grundlagen. Springer, Berlin, Heidelberg.

-
- Pfohl, H.-C.; Gareis, K.; Stölzle, W. (1999): Logistikaudit – Einsatz für die Lieferantenauswahl und -entwicklung. In: Logistik Management. 1999, Heft 1, S. 5-19.
- Pfohl, H.-C.; Stölzle, W. (1992): Entsorgungslogistik. In: Steger, U. (Hrsg.): Handbuch des Umweltmanagements – Anforderungs- und Leistungsprofile von Unternehmen und Gesellschaft. C. H. Beck, München, S. 571-591.
- Pfohl, H.-C.; Köhler, H.; Röth, C. (2008): Wert- und innovationsorientierte Logistik – Beitrag des Logistikmanagements zum Unternehmenserfolg. In: Baumgarten, H. (Hrsg.): Das Beste der Logistik – Innovationen, Strategien, Umsetzungen. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 91-100.
- Pohlen, T. L.; Coleman, B. J. (2005): Evaluating Internal Operations and Supply Chain Performance Using EVA and ABC. In: SAM Advanced Management Journal. 2005, Volume 70, Issue 2, S. 45- 58.
- Pokharel, S.; Mutha, A. (2009): Perspective in reverse logistics: A review. In: Resources, Conservation and Recycling. 2009, Volume 53, Issue 4, S. 175-182.
- Potoradi, J.; Winz, G.; Kam, L. W. (1999): Determining optimal lot-size for a semiconductor back-end factory. In: Farrington, P. A.; Nembhard, H. B.; Sturrock, D. T.; Evans, G. W. (Hrsg.): 1999 Winter Simulation Conference proceedings. Association for Computing Machinery et al., New York et al., S. 720-726.
- Quandt, M.; Ohr, D. (2004): Worum geht es, wenn es um nichts geht? – Zum Stellenwert von Niedrigkostensituationen in der Rational Choice-Modellierung nonkonformen Handelns. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie. 2004, Heft 4, S. 683-707.
- Qiao, B.; Zhu, J. (2000): Agent-Based Intelligent Manufacturing System for the 21st Century. In: Proceedings of the International Forum for Graduates and Young Researchers of EXPO. Hannover, S. 1-9.
- Queitsch, P. O. P. (1995): Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht – Erläuterte Ausgabe. Bundesanzeiger, Köln.
- Ranky, P. (1983): The Design and Operation of FMS: Flexible Manufacturing System. IFS Publications Ltd., Bedford.
- Rappaport, A. (1986): Creating Shareholder Value – The new Standard for Business Performance. Free Press, New York.

- Rappaport, A. (1995): Shareholder value – Wertsteigerung als Maßstab für die Unternehmensführung. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Reeves, C. R. (1993): Modern heuristic techniques for combinatorial problems. Halsted Press, New York.
- Reis, J.; Mamede, N. (2002): Multi-Agent Dynamic Scheduling and Re-Scheduling with Global Temporal Constraints. In: Filipe, J.; Sharp, B.; Miranda, P. (Hrsg.): Enterprise Information Systems III. Kluwer, Dordrecht, S. 117-123.
- Rettenberger, G. (2009): Zukünftige Nutzung der Deponie als Ressourcenquelle. In: Flamme, S.; Gallenkemper, B.; Gellenbeck, K.; Bidlingmaier, W.; Kranert, M.; Nelles, M.; Stegmann, R. (Hrsg.): 11. Münsteraner Abfallwirtschaftstage. LASU, Münster, S. 101-109.
- Richert, J. (2006): Performance Measurement in Supply Chains – Balanced Scorecard in Wertschöpfungsnetzwerken. Gabler, Wiesbaden.
- Richter, K.; Dobos, I. (2004): Production-Inventory Control in an EOQ-Type Reverse Logistics System. In: Dyckhoff, H.; Lackes, R.; Reese, J. (Hrsg.): Supply Chain Management and Reverse Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 139-160.
- Riezebos, J.; Hoc, J.-M.; Mebarki, N.; Dimopoulos, C.; van Wezel, W.; Pinot, G. (2011a): Design of Scheduling Algorithms. In: Fransoo, J. C.; Wäfler, T.; Wilson, J. R. (Hrsg.): Behavioral Operations in Planning and Scheduling. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 299-321.
- Riezebos, J.; Hoc, J.-M.; Mebarki, N.; Dimopoulos, C.; van Wezel, W.; Pinot, G. (2011b): Design of Scheduling Algorithms: Applications. In: Fransoo, J. C.; Wäfler, T.; Wilson, J. R. (Hrsg.): Behavioral Operations in Planning and Scheduling. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 371-412.
- Robinson, J. K.; Fowler, J. W.; Bard, J. F. (1995): The use of upstream and downstream information in scheduling semiconductor batch operations. In: International Journal of Production Research. 1995, Volume 33, Issue 7, S. 1849-1869.
- Rogers, D. S.; Tibben-Lembke, R. S. (1999): Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reverse Logistics Executive Council, Reno.

-
- Rogers, D. S.; Tibben-Lembke, R. S. (2001): An examination of reverse logistics practices. In: *Journal of Business Logistics*. 2001, Volume 22, Issue 2, S. 129-148.
- Rombach, E.; Weyhe, E.; Müller, T.; Sanchez, R.; Böhlke, J.; Georgi, T.; Friedrich, B. (2008a): Altbatterien als sekundäre Rohstoffressourcen für die Metallgewinnung. In: *World of Metallurgy - Erzmetall*. 2008, Volume 61, Issue 3, S. 180-185.
- Rombach, E.; Weyhe, E.; Müller, T.; Sanchez, R.; Böhlke, J.; Georgi, T.; Friedrich, B. (2008b): Rückgewinnung von Metallen aus verbrauchten Gerätebatterien. In: *Metall*. 2008, Heft 4, S. 1-6.
- Rubio, S.; Chamorro, A.; Miranda, F. J. (2008): Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005). In: *International Journal of Production Research*. 2008, Volume 46, Issue 4, S. 1099-1120.
- Rupp, T. M.; Ristic, M. (2000): Fine planning for supply chains in semiconductor manufacture. In: *Journal of Materials Processing Technology*. 2000, Volume 107, Issue 1-3, S. 390-397.
- Sames, G.; Büdenbender, W. (1998): Aachener PPS-Modell: Das morphologische Merkmalsschema. Forschungsinstitut für Rationalisierung, Aachen.
- Sandholm, T. (1993): An Implementation of the Contract Net Protocol Based on Marginal Cost Calculations. In: Clearwater, S. H. (Hrsg.): *Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence*. AAAI Press, Menlo Park, S. 256-263.
- Sarhan, N. J.; Qudah, B. (2007): Efficient cost-based scheduling for scalable media streaming. In: *Proceedings of Multimedia Computing and Networking Conference*. California, S. 134-145.
- Schmid, E. (2009): *Koordination im Reverse Logistics – Konzepte und Verfahren für Recyclingnetzwerke*. Gabler, Wiesbaden.
- Schnetzler, M.; Schönsleben, P.; Alard, R.; Sennheiser, A. (2007): Unternehmensbezogener Wertbeitrag von Beschaffung und Logistik. In: Sanz, F. J. G.; Semmler, K.; Walther, J. (Hrsg.): *Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz – Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten*. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 91-105.
- Scholz-Reiter, B.; De Beer, C.; Böse, F.; Windt, K. (2007): Evolution in der Logistik – Selbststeuerung logistischer Prozesse. In: 16. *Deutscher Material-*

fluss-Kongress – Intralogistik bewegt - mehr Effizienz, mehr Produktivität. VDI Verlag, Düsseldorf, S. 179-190.

Scholz-Reiter, B.; Höhns, H. (2006): Selbststeuerung logistischer Prozesse mit Agentensystemen. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 745-780.

Scholz-Reiter, B.; Novaes, A. G. N.; Makuschewitz, T.; Frazzon, E. M. (2011): Dynamic Scheduling of Production and Inter-Facilities Logistic Systems. In: Kreowski, H.-J.; Scholz-Reiter, B.; Thoben, K.-D. (Hrsg.): Dynamics in Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 443-453.

Scholz-Reiter, B.; Windt, K.; Freitag M. (2004): Autonomous Logistic Processes – New Demands and First Approaches. In: Monostori, L. (Hrsg.): Proceedings of 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Budapest, S. 357-362.

Schömig, A. K. (2000): OR Probleme in der Mikrochipfertigung. In: Fleischmann, B.; Lasch, R.; Derigs, U.; Domschke, W.; Rieder, U. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 2000. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 339-344.

Schönsleben, P. (2007): Integrales Logistikmanagement – Operations und Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken. Springer, Berlin, Heidelberg.

Schröter, M.; Spengler, Th. (2003): System-Dynamics-basierte Planung des Komponentenrecyclings in Closed-Loop Supply Chains. In: Fischer, T. (Hrsg.): Kybernetik und Wissensgesellschaft: Kybernetische Lösungen für praktische Probleme und neue theoretische Ansätze. Duncker & Humblot, Berlin, S. 113-129.

Schuh, G.; Gierth, A. (2006): Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. In: Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 11-27.

Schulte, C. (2009): Logistik – Wege zur Optimierung der Supply Chain. Franz Vahlen, München.

Schulte, G. (2001): Material- und Logistikmanagement. Oldenbourg, München.

-
- Schultmann, F. (2003): Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement – Betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung industrieller Kreislaufwirtschaftssysteme. Erich Schmidt, Berlin.
- Schultmann, F.; Zumkeller, M.; Rentz, O. (2006): Modeling reverse logistics tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. In: European Journal of Operational Research. 2006, Volume 171, Issue 3, S. 1033-1050.
- Schwarz, L. B. (2008): The Economic Order-Quantity (EOQ) Model. In: Chhajed, D.; Lowe, T. J. (Hrsg.): Building Intuition – Insights From Basic Operations Management Models and Principles. Springer, New York, S. 135-154.
- Schwinn, R. (1993): Betriebswirtschaftslehre. Oldenbourg, München, Wien.
- Searle, R. J. (1969): Speech Acts: an Essay in the Philosophy of Language. Cambridge University Press, Cambridge.
- Seitz, M. (2005): Understanding Closed-Loop Supply Chain Management: a Theoretical Discussion. BRASS Centre, Cardiff.
- Seliger, G. (2007): Aufbruch zu nachhaltiger Produktionstechnik. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 2007, Heft 4, S. 180-181.
- Sennheiser, A.; Schnetzler, M. (2008): Wertorientiertes Supply Chain Management – Strategien zur Mehrung und Messung des Unternehmenswertes durch SCM. Springer, Berlin et al.
- Shen, W. (2002): Distributed Manufacturing Scheduling Using Intelligent Agents. In: IEEE Intelligent Systems. 2002, Volume 17, Issue 1, S. 88-94.
- Shen, W.; Hao, Q. (2007): Agent-based Dynamic Scheduling for Distributed Manufacturing. In: Wang, L.; Shen, W. (Hrsg.): Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing. Springer, London, S. 191-212.
- Shen, W.; Norrie, D. H. (1999): Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey. In: Knowledge and Information Systems. 1999, Volume 1, Issue 2, S. 129-156.
- Shen, W.; Xue, D.; Norrie, D. H. (1998): An Agent-Based Manufacturing Enterprise Infrastructure for Distributed Integrated Intelligent Manufacturing Systems. In: Proceedings of the Third International Conference on the

Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents. London, S. 533-548.

Sikora, R.; Shaw, M. J. (1997): Coordination Mechanisms for Multi-Agent Manufacturing Systems: Applications to Integrated Manufacturing Scheduling. In: IEEE Transactions on Engineering Management. 1997, Volume 44, Issue 2, S. 175-187.

Singh, G.; Wenning, B.-L.; Singh, A.; Görg, C. (2008): Clustering in Autonomous Cooperating Logistic Processes. In: Haasis, H.-D.; Kreowski, H.-J.; Scholz-Reiter, B. (Hrsg.): Dynamics in Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 349-357.

Slack, N. (2005): The flexibility of manufacturing systems. In: International Journal of Operations & Production Management. 2005, Volume 25, Issue 12, S. 1190-1200.

Smith, R. G. (1980): The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. In: IEEE Transactions on Computers. 1980, Volume 29, Issue 12, S. 1104-1113.

Smith, R. G.; Davis, R. (1981): Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1981, Volume 11, Issue 1, S. 61-70.

Sodhi, M. S.; Reimer, B. (2001): Models for recycling electronics end-of-life products. In: OR Spektrum, Band 23, Ausgabe 1, S. 97-115.

Specht, D.; Braunisch, D. (2008): Sekundärrohstofflogistik – Konzepte und Anwendungen. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 2008, Heft 12, S. 875-880.

Specht, D.; Braunisch, D. (2009): Logistische Netzwerke im Bereich der Sekundärrohstofflogistik. In: Strohhecker, J; Größler, A. (Hrsg.): Strategisches und operatives Produktionsmanagement – Empirie und Simulation. Gabler, Wiesbaden, S. 241-266.

Specht, D.; Braunisch, D. (2010a): Vorhersagemöglichkeiten für den Rücklauf von Rückständen. In: Productivity Management. 2010, Heft 4, S. 26-29.

Specht, D.; Braunisch, D. (2010b): Dynamische Disposition in rückführungslogistischen Systemen. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 2010, Heft 10, S. 860-864.

-
- Specht, D.; Kahmann, J. (2000a): Virtuelle Organisation. In: Wildemann, H. (Hrsg.): TCW-Report 25. TCW, München.
- Specht, D.; Kahmann, J. (2000b): Regelung kooperativer Tätigkeit in virtuellen Unternehmen. In: Albach, H.; Specht, D.; Wildemann, H. (Schriftl.): Virtuelle Unternehmen. Zeitschrift für Betriebswirtschaft. 2000, Erg.-Heft 2, S. 55-73.
- Specht, D.; Lutz, M. (2007): Outsourcing und Offshoring als strategische Handlungsalternativen. In: Specht, D. (Hrsg.): Insourcing, Outsourcing, Offshoring – Tagungsband der Herbsttagung 2005 der Wissenschaftlichen Kommission Produktionswirtschaft im VHB. Gabler, Wiesbaden, S. 43-60.
- Specht, D.; Möhrle, M. G. (2002): Gabler Lexikon Technologie Management – Management von Innovationen und neuen Technologien im Unternehmen. Gabler, Wiesbaden.
- Spengler, T. (1994): Industrielle Demontage- und Recyclingkonzepte – Betriebswirtschaftliche Planungsmodelle zur ökonomisch effizienten Umsetzung abfallrechtlicher Rücknahme- und Verwertungspflichten. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Spengler, T.; Püchert, H.; Penkuhn, T.; Rentz, O. (1997): Environmental integrated production and recycling management. In: European Journal of Operational Research. 1997, Volume 97, Issue 2, S. 308-326.
- Spengler, T.; Schröter, M. (2005): Konzeption eines System Dynamics Modells zur strategischen Planung von Closed-Loop Supply Chains – dargestellt am Beispiel der Ersatzteilversorgung. In: Zfb – Zeitschrift für Betriebswirtschaft. 2005, Heft 3, S. 1-30.
- Sprenger, R.-U.; Rave, T. (2003): Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten bei Subventionen – Bestandsaufnahme und Reformansätze. Umweltbundesamt, Berlin.
- Spur, G. (Hrsg.) (1986): Handbuch flexibel vernetzte Fertigungssysteme. VDI. Düsseldorf.
- Stabenau, H. (2008): Zukunft braucht Herkunft! – Entwicklungslinien und Zukunftsperspektiven der Logistik. In: Baumgarten, H. (Hrsg.): Das Beste der Logistik – Innovationen, Strategien, Umsetzungen. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 23-30.

- Stadtler, H. (2009): A framework for collaborative planning and state-of-the-art. In: OR Spectrum. 2007, Volume 31, Issue 1, S. 5-30.
- Stegbauer, C. (2010): Netzwerkanalyse und Netzwerktheorie – Einige Anmerkungen zu einem neuen Paradigma. In: Stegbauer, C. (Hrsg.): Netzwerkanalyse und Netzwerktheorie – Ein neues Paradigma in den Sozialwissenschaften. VS, Wiesbaden, S. 11-19.
- Stehli, M. (2011): ManufAg – ein Rahmenwerk für agentenbasierte Produktionssteuerungssysteme. Dissertation, FernUniversität Hagen.
- Steinhilper, R. (1998): Remanufacturing – The Ultimate Form of Recycling. Fraunhofer, Stuttgart.
- Sterr, T. (2003): Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalen Kontext – Betriebswirtschaftlich-ökologische und geographische Betrachtungen in Theorie und Praxis. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Steven, M. (2004): Networks in Reverse Logistics. In: Dyckhoff, H.; Lackes, R.; Reese, J. (Hrsg.): Supply Chain Management and Reverse Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 163-180.
- Steven, M.; Tengler, S.; Krüger, R. (2003a): Reverse Logistics (I). In: Das Wirtschaftsstudium. 2003, Heft 5, S. 643-647.
- Steven, M.; Tengler, S.; Krüger, R. (2003b): Reverse Logistics (II). In: Das Wirtschaftsstudium. 2003, Heft 6, S. 779-784.
- Stock, J. R. (1992): Reverse logistics. Council of Logistics Management, Oak Brook.
- Stock, J. R.; Speh, T.; Shear, H. (2006): Managing Product Returns for Competitive Advantage. In: MIT Sloan Management Review. 2006, Volume 48, Issue 1, S. 57-62.
- Straube, F. (2007): Die Bedeutung der Logistik in Wissenschaft und Wirtschaft. In: Hausladen, I. (Hrsg.): Management am Puls der Zeit – Strategien, Konzepte und Methoden, Band 2: Produktion und Logistik. TCW, München, S. 997- 1014.
- Suigmura, N.; Rajesh, S.; Takemoto, T. (2007): A Study on Integrated Process Planning and Scheduling System for Holonic Manufacturing System. In: Wang, L.; Shen, W. (Hrsg.): Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing. Springer, London, S. 311-334.

-
- Sule, D. R. (2008): Production Planning and Industrial Scheduling – Examples, Case Studies and Applications. CRC Press, Boca Raton.
- Sullivan, G.; Fordyce, K. (1990): IBM Burlington's Logistics Management System. In: Interfaces. 1990, Volume 20, Issue 1, S. 43-64.
- Sun, S.; Zhuge, F.; Rosenberg, J.; Steiner, R. M.; Rubin, G. D.; Napel, S. (2008): Learning-enhanced simulated annealing: method, evaluation and application to lung nodule registration. In: Applied Intelligence. 2008, Volume 28, Issue 1, S. 83-99.
- Sycara, K. P. (1998): Multiagent Systems. In: AI Magazine. 1998, Volume 19, Issue 2, S. 79-92.
- Sydow, J. (1992): Strategische Netzwerke – Evolution und Organisation. Gabler, Wiesbaden.
- Sydow, J. (2010): Management von Netzwerkorganisationen – Zum Stand der Forschung. In: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen – Beiträge aus der „Managementforschung“. Gabler, Wiesbaden, S. 373-470.
- Sydow, J.; Möllering, G. (2009): Produktion in Netzwerken – Make, Buy & Cooperate. Franz Vahlen, München.
- Tempelmeier, H. (2006): Material-Logistik – Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tempelmeier, H.; Kuhn, H. (1993): Flexible Fertigungssysteme – Entscheidungsunterstützung für Konfiguration und Betrieb. Springer, Berlin et al.
- Ten Hompel, M.; Follert, G.; Roidl, M. (2008): Künstliche Intelligenz im Internet der Dinge: Die Zukunft der Materialflussteuerung mit autonomen Agenten. In: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2008. free beratung GmbH, Korschenbroich, S. 24-29.
- Teuteberg, F. (2005): Realisierung ubiquitärer Supply Networks auf Basis von Auto-ID und Agenten-Technologien – Evolution oder Revolution. In: Ferstl, O. K.; Sinz, E. J.; Eckert, S.; Isselhorst, T. (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik 2005 – eEconomy, eGovernment, eSociety. Physica-Verlag, Heidelberg, S. 3-22.

- Teuteberg, F. (2007): Diffusion und Anwendung von Technologien des Ubiquitous Computing zur Selbststeuerung im Supply Chain Event Management – Ein Erklärungsmodell auf Basis einer empirischen Studie. In: Ijioui, R.; Emmerich, H.; Ceyp, M. (Hrsg.): Supply Chain Event Management – Konzepte, Prozesse, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele. Physica-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 15-35.
- Thierry, M.; Salomon, M.; Van Nunen, J.; Van Wassenhove, L. (1995): Strategic Issues in Product Recovery Management. *California Management Review*. 1995, Volume 37, Issue 2, S. 114-135.
- Thieß, P. (2011): Ökonomische Grenzen des Wachstums. In: *WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium*. 2011, Heft 5, S. 250-253.
- Tibben-Lembke, R. S.; Rogers, D. S. (2002): Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. In: *Supply Chain Management: An International Journal*. 2002, Volume 7, Issue 5, S. 271-282.
- Tiess, G. (2009): Rohstoffpolitik in Europa – Bedarf, Ziele, Ansätze. Springer, Wien.
- Tilton, J. E. (1990): World metal demand: Trends and Prospects. Resources for the Future, Washington D.C.
- Timm, I. J.; Knirsch, P.; Herzog, O.; Tönshoff, H. K.; Woelk, P.-O. (2001): Mass Customization als Chance für KMU: Kooperative Agenten für die Informationslogistik. In: Sebastian, H.-J.; Grünert, T. (Hrsg.): Logistik Management – Supply Chain Management und e-Business. Teubner, Stuttgart et al., S. 401-410.
- Toktay, L. B. (2003): Forecasting Product Returns. In: Guide, V. D. R.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Business Aspects of Closed-Loop Supply Chains. Carnegie Mellon University Press, Pittsburgh, S. 203-219.
- Toktay, L. B.; Van der Laan, E. A.; De Brito, M. P. (2004): Managing Product Returns: The Role of Forecasting. In: Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K.; Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.): Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 45-64.
- Tolio, T. (2009): Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools. Springer, Berlin, Heidelberg.

-
- Tröger, S. (1997): Grundlagen und Perspektiven einer nachhaltigen Bauwirtschaft: Phase A: Zustandsanalyse des für die Bauwirtschaft relevanten Ressourcenverbrauches (ökologische und ökonomische Relevanz). Philipp-Holzmann-Aktiengesellschaft, Frankfurt, Main.
- Tuma, A.; Lebreton, B. (2005): Zur Bewertung und Umsetzung von Kreislaufwirtschaftsstrategien. In: ZfB – Zeitschrift für Betriebswirtschaft. 2005, Special Issue 3, S. 59-75.
- Turowski, K. (1999): Agenten-gestützte Informationslogistik für Mass Customization. In: Kopfer, H.; Bierwirth, C. (Hrsg.): Logistik Management – Intelligente I+K-Technologien. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 199-209.
- Uzsoy, R.; Lee, C.-Y.; Martin-Vega, L. A. (1992): A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry Part I: System Characteristics, Performance Evaluation and Production Planning. In: IIE Transactions. 1992, Volume 24, Issue 4, S. 47-60.
- Uzsoy, R.; Lee, C.-Y.; Martin-Vega, L. A. (1994): A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry Part II: Shop-Floor Control. In: IIE Transactions. 1994, Volume 26, Issue 5, S. 44-55.
- Vahrenkamp, R. (2007): Logistik – Management und Strategien. Oldenbourg, München.
- Vahrenkamp, R. (2008): Produktionsmanagement. Oldenbourg, München.
- Vahrenkamp, R.; Mattfeld, D. C. (2007): Logistiknetzwerke – Modelle für Standortwahl und Tourenplanung. Gabler, Wiesbaden.
- Vahrenkamp, R.; Siepermann, C. (2010): Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme. In: Wisu – Das Wirtschaftsstudium. 2010, Heft 11, S. 1481-1490.
- Valckenaers, P.; Van Brussel, H.; Wyns, J.; Bongaerts, L.; Peeters, P. (1998): Designing holonic manufacturing systems. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 1998, Volume 14, Issue 5-6, S. 455-464.
- Van Brussel, H.; Wyns, J.; Valckenaers, P.; Bongaerts, L.; Peeters, P. (1998): Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA. In: Computers in Industry. 1998, Volume 37, Issue 3, S. 255-276.

- Van der Laan, E.; Dekker, R.; Salomon, M.; Ridder, A. (1996): An (s,Q) inventory model with remanufacturing and disposal. In: International Journal of Production Economics. 1996, Volume 46-47, Issue 1, S. 339-350.
- Veit, D.; Fichtner, W.; Ragwitz, M. (2004): Multi-Agenten Systeme als Methode zur Simulation von Entscheidungsprozessen in der Energiewirtschaft. In: Geldermann, J.; Treitz, M. (Hrsg.): Entscheidungstheorie und -praxis in industrieller Produktion und Umweltforschung. Shaker, Aachen, S. 19-34.
- Verband der Automobilindustrie (VDA) e. V. (Hrsg.) (1990) : Konzept der zukünftigen Altautoverwertung. VDA, Frankfurt.
- Verstraete, P.; Germain, B. S.; Hadeli, K.; Valckenaers, P.; Van Brussel, H. (2006): On applying the PROSA reference architecture in multi-agent manufacturing control applications. In: Weyns, D.; Holvoet, T. (Hrsg.): Multiagent Systems and Software Architecture. Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee, S. 31-48.
- Vest, M.; Weyhe R.; Georgi-Maschler, T.; Friedrich, B. (2010): Rückgewinnung von Wertmetallen aus Batterieschrott. In: Chemie Ingenieur Technik. 2010, Heft 11, S. 1985-1990.
- Vester, F. (1988): Der blaue Planet in der Krise. In: Gewerkschaftliche Monatshefte. 1988, Heft 12, S. 713-722.
- Vieira, G. E.; Herrmann, J. W.; Lin, E. (2000): Analytical models to predict the performance of a single-machine system under periodic and event-driven rescheduling strategies. In: International Journal of Production Research. 2000, Volume 38, Issue 8, S. 1899-1915.
- Vieira, G. E.; Herrmann, J. W.; Lin, E. (2003): Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies and methods. In: Journal of Scheduling. 2003, Volume 6, Issue 1, S. 39-62.
- Vogtländer, J. G.; Brezet, H. C.; Hendriks, C. F. (2001): Allocation in Recycling Systems. An Integrated Model for the Analyses of Environmental Impact and Market Value. In: International Journal of Life Cycle Assessment. 2001, Volume 6, Issue 6, S. 344-355.
- Von Stengel, R. (1999): Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Wagner, G. R. (2003): Logistik und Ökologie - Ein kreislaufwirtschaftlicher Überblick. In: Baumgarten, H.; Wiendahl, H.-P.; Zentes, J. (Hrsg.): Logistik-

-
- Management – Strategien - Konzepte - Praxisbeispiele, Band 1. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1-21 (3.04.03).
- Waldruff, A. (2007): Dynamische Aspekte komplexer Logistiksysteme. In: Sanz, F. J. G.; Semmler K.; Walther, J. (Hrsg.): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz – Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 161-180.
- Walker, S. S.; Brennan, R. W.; Norrie, D. H. (2006): Experience and reflection on the development of a holonic job shop scheduling system. In: International Journal of Computer Applications in Technology. 2006, Volume 26, Issue 1-2, S. 15-27.
- Walther, G. (2005): Recycling von Elektro- und Elektronik-Altgeräten – Strategische Planung von Stoffstrom-Netzwerken für kleine und mittelständische Unternehmen. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Walther, G.; Spengler, T. (2004): Empirical analysis of collaboration potentials of SME in product recovery. In: Progress in Industrial Ecology – An International Journal. 2004, Volume 1, Issue 4, S. 363-384.
- Walther, S.; Von der Gracht, H. A.; Schick, F. (2008): Zukunftsszenarien für die Logistikdienstleistung im Jahr 2025. In: Baumgarten, H. (Hrsg.): Das Beste der Logistik – Innovationen, Strategien, Umsetzungen. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 415-423.
- Wang, X.; Qi, H.; Xiao, H.; Zhang, X.; Hu, Y; Feng, X. (2010): Series queuing network scheduling approach to co-scheduling model of three Gorges-Gezhou dam. In: Journal of System Science and Complexity. 2010, Volume 23, Issue 4, S. 715-726.
- Wannenwetsch, H. (2010): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik – Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Warnecke, H.-J. (Hrsg.) (1984): Flexible Fertigungssysteme. Springer, Berlin et al.
- Weber, J.; Bramseman, U.; Heineke, C.; Hirsch, B. (2004): Wertorientierte Unternehmenssteuerung – Konzepte - Implementierung - Praxisstatements. Gabler, Wiesbaden.
- Weber, J.; Kummer, S. (1998): Logistikmanagement. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.

- Weigelt, M. (1994): Dezentrale Produktionssteuerung mit Agenten-Systemen – Entwicklung neuer Verfahren und Vergleich mit zentraler Lenkung. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Wein, L. M. (1992a): Scheduling networks of queues: heavy traffic analysis of a multistation network with controllable inputs. In: Operations Research. 1992, Volume 40, Issue 3, S. 312-334.
- Wein, L. M. (1992b): On the Relationship Between Yield and Cycle Time in Semiconductor Wafer Fabrication. In: IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing. 1992, Volume 5, Issue 2, S. 156-158.
- Weiß, G. (1999): Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. The MIT Press, Cambridge.
- Weiß, G.; Jakob, R. (2005): Agentenorientierte Softwareentwicklung – Methoden und Tools. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wermke, M.; Kunkel-Razum, K.; Scholze-Stubenrecht, W. (Dudenredaktion) (2006): Duden – Die deutsche Rechtschreibung. Dudenverlag, Mannheim et al.
- Werner, H. (2008): Supply Chain Management – Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. Gabler, Wiesbaden.
- Wiendahl, H-P. (2003): Grundlagen und Aufgaben der Industrielogistik. In: Baumgarten, H.; Wiendahl, H.-P.; Zentes, J. (Hrsg.): Logistik-Management – Strategien - Konzepte - Praxisbeispiele, Band 2. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1-12 (7.01.01).
- Wiese, H. (2010): Mikroökonomik – Eine Einführung. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wildemann, H. (1996): Management von Produktions- und Zuliefernetzwerken. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Produktions- und Zuliefernetzwerke. TCW, München, S. 13-45.
- Wildemann, H. (1997): Trends in der Distributions- und Entsorgungslogistik – Trends und Ergebnisse einer Delphi-Studie. TCW, München.
- Wildemann, H. (2004): Der Wertbeitrag der Logistik. In: Logistik-Management. 2004, Heft 3, S. 67-75.

-
- Wildemann, H. (2007): Die adaptive, kundenorientierte Value Chain. In: Günthner, W. A. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik – Die Vision der Supra-Adaptivität. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 103-121.
- Wildemann, H. (2008a): Entwicklungslinien der Logistik. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 19-41.
- Wildemann, H. (2008b): Entwicklungspfade der Logistik. In: Baumgarten, H. (Hrsg.): Das Beste der Logistik – Innovationen, Strategien, Umsetzungen. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 161-172.
- Windt, K.; Hülsmann, M. (2007): Changing Paradigms in Logistics – Understanding the Shift from Conventional Control to Autonomous Cooperation and Control. In: Hülsmann, M.; Windt, K. (Hrsg.): Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics – The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication and Material Flow. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1-16.
- Winter, F. (2008): Logistik im Zwischenwerksverkehr – Eine systemorientierte Analyse. Gabler, Wiesbaden.
- Wirth, S. (Hrsg.) (1989): Flexible Fertigungssysteme – Gestaltung und Anwendung in der Teilefertigung. Technik, Berlin.
- Wittig, A. (2005). Management von Unternehmensnetzwerken. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Wittig, T. (1992): Archon: An Architecture for Multi-agent Systems. Ellis Horwood, New York et al.
- Wohlgemuth, O. (2002): Management netzwerkartiger Kooperationen – Instrumente für die unternehmensübergreifende Steuerung. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
- Woidasky, J.; Schweppe, R.; Hirth, T. (2009): Ressourcen- und Energieeffizienz. In: Chemie - Ingenieur - Technik. 2009, Heft 11, S. 1711-1719.
- Wooldridge, M. (2009): An Introduction to Multiagent Systems. Wiley, Chichester.
- Wooldridge, M.; Jennings, N. R. (1995): Intelligent Agents: Theory and Practice. In: The Knowledge Engineering Review. 1995, Volume 10, Issue 2, S. 115-152.

- Wu, J. (2008): Contract Net Protocol for Coordination in Multi-agent System. In: Intelligent Information Technology Application. 2008, Volume 2, S. 1052-1058.
- Wutz, A. (2008): Das Produktalterungsmodell und deterministische Losgrößenmodelle im Rahmen der Reverse Logistics. Dr. Kovac, Hamburg.
- Xiong, M.; Wang, Q; Ramamritham, K. (2008): On earliest deadline first scheduling for temporal consistency maintenance. In: Real-Time Systems. 2008, Volume 40, Issue 2, S. 208-237.
- Yamamoto, M.; Nof, S. Y. (1985): Scheduling/rescheduling in the manufacturing operating system environment. In: International Journal of Production Research. 1985, Volume 23, Issue 4, S. 705-722.
- Yu, J.; Buyya, R.; Tham, C. K. (2005): Cost-based Scheduling of Scientific Workflow Applications on Utility Grids. In: Proceedings of the First International Conference on e-Science and Grid Computing. Melbourne, S. 140-147.
- Zelewski, S. (1998a): Auktionsverfahren zur Koordinierung von Agenten auf elektronischen Märkten. In: Becker, M.; Kloock, J.; Schmidt, R.; Wäscher, G. (Hrsg.): Unternehmen im Wandel und Umbruch. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 305-337.
- Zelewski, S. (1998b): Multi-Agenten-Systeme – ein innovativer Ansatz zur Realisierung dezentraler PPS-Systeme. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Innovationen in der Produktionswirtschaft – Produkte, Prozesse, Planung und Steuerung. TCW, München, S. 133-166.
- Zeltner, C.; Bader, H.-P.; Scheidegger, R.; Baccini, P. (1999): Sustainable metal management exemplified by copper in the USA. In: Regional Environmental Change. 1999, Volume 1, Issue 1, S. 31-46.
- Zhou, B.; Li, C.; Zhao, X. (2007): FIPA agent-based control system design for FMS. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007, Volume 31, Issue 9-10, S. 969-977.
- Ziemann, S.; Schippl, J.; Grunwald, A.; Schebek, L. (2010): Verfügbarkeit knapper metallischer Rohstoffe und innovative Möglichkeiten zu ihrer Substitution. In: Teipel, U. (Hrsg.): Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen. Fraunhofer, Stuttgart, S. 83-96.
- Zimmermann, J. (2008): Adaptive Multi-Agenten-Systeme zur Steuerung komplexer Produktionssysteme. Dissertation, Fernuniversität Hagen.

Zweben, M.; Fox, M. S. (1994): Intelligent scheduling. Morgan Kaufmann, San Francisco.

